



**Universidad de Cuenca**

**Facultad de Ciencias Químicas  
Escuela de Ingeniería Ambiental**

**“Análisis del impacto ambiental de las tecnologías termo-solares de  
concentración, usando la herramienta ACV (análisis del ciclo de vida)”**

**Tesis de grado previa a la obtención  
del Título de Ingeniero Ambiental**

**Director: Juan Leonardo Espinoza Abad (PhD)**

**Autor: José Julián Estrella López**

**Cuenca - Ecuador**

**2015**



## Resumen

Esta Investigación se enmarca dentro del proyecto “Elaboración de un mapa de irradiación solar directa normal y análisis de aplicaciones industriales, viabilidad tecnoeconómica e impacto ambiental de sistemas termosolares híbridos para el Ecuador”, propuesto por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER y acogido por la Universidad de Cuenca.

El proyecto contempla entre sus principales objetivos: la elaboración de un mapa de irradiación solar normal directa (DNI), el análisis de la viabilidad tecnoeconómica de alternativas de generación con concentradores termosolares y su posible hibridación con otros combustibles como el gas natural y la biomasa, y la evaluación del impacto ambiental global de dichos concentradores mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). En este último objetivo se centrará la presente investigación, contribuyendo de esta forma a elegir la tecnología que de mejor manera cumpla con los requerimientos de eficiencia, costo y reducción de impacto ambiental.

Para el estudio se investigará a fondo cada una de las 4 tecnologías de sistemas termosolares de concentración a ser analizadas, estableciendo criterios para la comparación en base a la metodología propuesta por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) en las normas 14040 y 14044, para obtener un inventario completo de entradas y salidas de energía y materia, mediante la utilización del software SimaPro 8 para ACV, utilizado por el INER.

**Palabras Clave:** Análisis del Ciclo de Vida, Tecnologías Termosolares de Concentración, Energía Solar, Evaluación de Impacto Ambiental



Kay taripay ñawpak yuyayta ukupi shinakan: Intiyuk kallparpaymanta yuyashuypak llamkak, shinallatak kanpuchishka shayllurakmanta llipralliyachakuypash, sumak rurak-kullkiyak ñankak, ashtawan Ecuador mamallaktapak Intiyuk chakrushka llikakunamanta pachamamapi waktaykunata shinallatak wakllikunatapash apamun; kayka “Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables” INER nishkata kushka.

Chay ñawpak yuyay kay awkik paktaykunata rikun: Intiyuk kallparpaymanta yuyashuyta (DNI), shinallatak kanpunchishka sumak llankak kullkiyak ñamkak, shina kashpaka Intiyuk kuskapachikunawan wallkakukkuna, shuk kutikuna chawrakkunawan chakrui, shina kikallpak wayra kawsaywan, tukuy kayka pachamamapi wakllimanta kamaykuta apamunka; kayka kawsay muyupak llipralliyachakunarayku (ACV).

Kay llankarñanrayku puchuk paktaypi kuskayan, kaywan ashtawan alli wallpanta akllanata yanapanchik, kayka kan: alli utkakta, chanita, pachamamaman waktayta uchillachin.

Kay tukuy yachakuypak, intirak llikikunata chusku wallpayachinata taripanchik, aliyuyayta rikunchik chinapurankapak, wallpayachinata ña rikushka “Organización Internacional de Estandarización” (ISO) 14040-14044 uchilla kamachikkunapi, shuk charishka kiputa charinkapak ña llukpihawa ña kallpahawa punkunkunatapash llukshikunatapash, “software SimaPro 8” ACVpak, INERpak arikanashka.



## **Abstract**

This research is part of a project named “Elaboration of a map of solar direct normal irradiance and analysis of industrial applications, techno-economic feasibility, and environment impact of hybrid solar thermal systems for Ecuador,” proposed by the National Institute of Energetic Efficiency and Renewable Energy - INER (the acronym for the name in Spanish), and developed by the University of Cuenca.

The project includes among its main objectives: The development of a map of solar direct normal irradiance (DNI), the analysis of the techno-economic feasibility of alternatives of generation with solar thermal concentrators and its possible hybridization with other fuels such as natural gas and biomass, and the evaluation of the global environmental impact of the concentrators through the life cycle assessment (LCA). This investigation focuses in the last objective presented previously; thereby contributing to choose the technology that best meets the requirements of efficiency, cost and environmental impact reduction.

For this study, it will be deeply investigated each one of the four technologies of solar thermal concentrating systems that are required to be analyzed establishing criteria for the comparison based on the methodology proposed by the International Organization for Standardization (ISO) in the standards 14040 and 14044 to obtain a full inventory of inputs and outputs of energy and matter, using SimaPro 8 for the LCA used by the INER.

### **Key Words**

Life Cycle Assessment (LCA), Concentrated Solar Power (CSP), Solar Energy, Evaluation of the Global Environmental Impact



CLÁUSULAS DE DERECHO DE AUTOR .....	11
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL .....	12
Introducción .....	15
Capítulo 1 - Energía solar y sus aplicaciones.....	18
1.1.    Introducción.....	18
1.2.    Energía Solar Indirecta .....	19
1.3.    Energía Solar Directa.....	19
1.3.1.    Energía Solar Fotovoltaica.....	19
1.3.2.    Energía Solar Térmica .....	21
1.3.2.1.    Energía Solar Térmica Pasiva .....	21
1.3.2.2.    Energía Solar Térmica Activa.....	21
1.3.2.2.1.    Energía Solar Térmica de Baja Temperatura.....	23
1.3.2.2.2.    Energía Solar Térmica de Media Temperatura .....	24
1.3.2.2.3.    Energía Solar Térmica de Alta Temperatura.....	25
1.3.2.2.3.1.    Energía Solar Térmica por Concentración - CSP.....	25
1.3.2.2.3.1.1.    Tecnología de Captadores Cilindro Parabólicos - PTC .....	26
1.3.2.2.3.1.2.    Tecnología de Captadores Lineares Fresnel - LFC .....	28
1.3.2.2.3.1.3.    Tecnología Sistema de Torre Central - SPT.....	29
1.3.2.2.3.1.4.    Tecnología de Captadores de Disco Parabólicos - PDC .....	30
1.4.    Potencial de la Energía Solar en el Ecuador .....	32
Capítulo 2 - Gestión ambiental y Análisis del Ciclo de Vida.....	34
2.1.    Introducción.....	34
2.2.    Líneas de Acción de la Gestión Ambiental.....	36
2.2.1.    Prevención de degradaciones .....	36
2.2.2.    Corrección de comportamientos .....	36
2.2.3.    Curación de degradaciones .....	36
2.3.    Instrumentos de Gestión Ambiental.....	36
2.3.1.    Instrumentos Preventivos.....	36
2.3.2.    Instrumentos Correctores.....	38
2.3.2.1.    Instrumentos orientados a los procesos productivos .....	38
2.3.2.2.    Instrumentos orientados a los productos o servicios .....	39
2.3.3.    Instrumentos Curativos .....	41
2.3.4.    Instrumentos Potenciativos .....	41
2.3.5.    Otros Instrumentos.....	42



Universidad de Cuenca

2.4.	Análisis del Ciclo de Vida - ACV .....	43
2.4.1.	Origen y evolución del ACV .....	44
2.4.2.	Fases del ACV .....	45
2.4.2.1.	Definición del objetivo y alcance .....	46
2.4.2.2.	Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) .....	48
2.4.2.3.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) .....	51
2.4.2.4.	Interpretación de resultados .....	52
Capítulo 3 - Definición de criterios para aplicación del ACV para sistemas termosolares con potencial en el Ecuador .....		55
3.1.	Introducción .....	55
3.2.	Objetivo .....	55
3.3.	Alcance .....	56
3.4.	Función, unidad funcional y flujos de referencia .....	57
3.5.	Límites del sistema .....	58
3.6.	Metodología de la EICV y tipos de impacto .....	59
3.7.	Tipos y fuentes de datos .....	61
3.8.	Requisitos de calidad de los datos .....	61
3.9.	Comparación entre sistemas .....	62
Capítulo 4 - Análisis y Resultados .....		63
4.1.	Introducción .....	63
4.2.	Funcionamiento del Software SimaPro 8 .....	64
4.2.1.	Información del Software .....	64
4.2.2.	Diseño de plantas e ingreso de datos .....	65
4.2.3.	Consolidación de datos por planta .....	67
4.2.4.	Análisis y caracterización por planta .....	68
4.2.5.	Comparación de plantas .....	70
4.3.	ACV para la tecnología de captadores cilindro-parabólicos (PTC) - caso de estudio: planta "Andasol I" .....	70
4.3.1.	Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) .....	70
4.3.2.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) .....	73
4.3.2.1.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico por uso de Combustibles Fósiles .....	73
4.3.2.2.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico .....	74
4.3.2.3.	Caracterización de la Contribución a la Acidificación .....	75
4.3.2.4.	Caracterización de la Contribución a la Eutrofización .....	76
4.3.2.5.	Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global .....	77



4.3.2.6.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono	78
4.3.2.7.	Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica .....	79
4.4.	ACV para la tecnología de captadores lineares Fresnel (LFC) - caso de estudio: planta "Puerto Errado 2" .....	80
4.4.1.	Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) .....	80
4.4.2.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	81
4.4.2.1.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles.....	81
4.4.2.2.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico.....	82
4.4.2.3.	Caracterización de la Contribución a la Acidificación.....	83
4.4.2.4.	Caracterización de la Contribución a la Eutrofización.....	84
4.4.2.5.	Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global.....	85
4.4.2.6.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono	86
4.4.2.7.	Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica .....	87
4.5.	ACV para la tecnología de torre central con helióstatos (SPT) - caso de estudio: planta "Gemasolar" .....	88
4.5.1.	Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) .....	88
4.5.2.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	90
4.5.2.1.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles.....	90
4.5.2.2.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico.....	90
4.5.2.3.	Caracterización de la Contribución a la Acidificación.....	91
4.5.2.4.	Caracterización de la Contribución a la Eutrofización.....	92
4.5.2.5.	Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global.....	93
4.5.2.6.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono	94
4.5.2.7.	Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica .....	95
4.6.	ACV para la tecnología de captadores de disco parabólicos (PDC) - caso de estudio: planta "Maricopa" .....	96
4.6.1.	Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) .....	96
4.6.2.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	97
4.6.2.1.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles.....	97
4.6.2.2.	Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico.....	98



Universidad de Cuenca

4.6.2.3. Caracterización de la Contribución a la Acidificación .....	99
4.6.2.4. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización .....	100
4.6.2.5. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global.....	101
4.6.2.6. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono	102
4.6.2.7. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica .....	103
4.7. Interpretación de resultados .....	104
4.8. Análisis de resultados .....	106
Capítulo 5 - Conclusiones, Contribuciones y Recomendaciones .....	109
5.1. Conclusiones.....	109
5.2. Contribuciones .....	110
5.3. Recomendaciones .....	110
Bibliografía.....	112
Anexos.....	115

## Lista de gráficos

Gráfico 1-1. Energía Solar.....	18
Gráfico 1-2. Efecto fotoeléctrico en una celda solar .....	20
Gráfico 1-3. Principales componentes de un SFV .....	20
Gráfico 1-4. Esquema básico de una instalación térmica.....	22
Gráfico 1-5. Tipos de colectores solares de baja temperatura .....	24
Gráfico 1-6. Captadores Cilindro - Parabólicos .....	27
Gráfico 1-7. Planta PTC .....	27
Gráfico 1-8. Captadores Lineares Fresnel .....	29
Gráfico 1-9. Planta LFC.....	29
Gráfico 1-10. Sistema de Torre Central .....	30
Gráfico 1-11. Planta SPT .....	30
Gráfico 1-12. Concentradores de Discos Parabólicos.....	31
Gráfico 1-13. Planta PDC .....	31
Gráfico 2-1. Gestión Ambiental y sus Instrumentos.....	35
Gráfico 2-2. Instrumentos de Gestión Ambiental según carácter .....	35
Gráfico 2-3. Estructura del ACV .....	45
Gráfico 2-4. Esquema de las etapas del ACV .....	46
Gráfico 2-5. Esquema de ICV.....	50
Gráfico 3-1. Esquema general de criterios de análisis y unidad funcional .....	57
Gráfico 3-2. Esquema de flujos de referencia .....	58
Gráfico 4-1. Captura de pantalla de diseño de plantas y procesos .....	66





Universidad de Cuenca

Gráfico 4-2. Captura de pantalla de ingreso de materiales por proceso .....	67
Gráfico 4-3. Captura de pantalla de consolidación de una planta .....	67
Gráfico 4-4. Caracterización de la planta "Puerto Errado 2" en la categoría "Agotamiento de la Capa de Ozono" .....	68
Gráfico 4-5. Esquema para la categoría "Contribución al Calentamiento Global" de la planta "Puerto Errado 2" .....	69
Gráfico 4-6. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - "Andasol I" .....	73
Gráfico 4-7. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico - "Andasol I" .....	74
Gráfico 4-8. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - "Andasol I" .....	75
Gráfico 4-9. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Andasol I" .....	76
Gráfico 4-10. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Andasol I" .....	77
Gráfico 4-11. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - "Andasol I" .....	78
Gráfico 4-12. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - "Andasol I" .....	79
Gráfico 4-13. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - "Puerto Errado 2" .....	82
Gráfico 4-14. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico - "Puerto Errado 2" .....	82
Gráfico 4-15. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - "Puerto Errado 2" .....	83
Gráfico 4-16. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Puerto Errado 2" .....	84
Gráfico 4-17. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Puerto Errado 2" .....	85
Gráfico 4-18. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - "Puerto Errado 2" .....	86
Gráfico 4-19. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - "Puerto Errado 2" .....	87
Gráfico 4-20. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - "Gemasolar" .....	90
Gráfico 4-21. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - "Gemasolar" .....	91
Gráfico 4-22. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Gemasolar" .....	92
Gráfico 4-23. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Gemasolar" .....	93
Gráfico 4-24. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - "Gemasolar" .....	94
Gráfico 4-25. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - "Gemasolar" .....	95
Gráfico 4-26. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - "Maricopa" .....	97
Gráfico 4-27. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico - "Maricopa" .....	98
Gráfico 4-28. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - "Maricopa" .....	99
Gráfico 4-29. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Maricopa" .....	100
Gráfico 4-30. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Maricopa" .....	101



Universidad de Cuenca

Gráfico 4-31. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - “Maricopa”

.....102

Gráfico 4-32. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - “Maricopa” ....103

Gráfico 4-33. Análisis comparativo de impacto ambiental de las 4 plantas CSP .....106

Gráfico 4-34. Esquematización de las relaciones entre impactos, efectos y áreas de protección107

## Lista de Tablas

Tabla 1-1. Sistemas de Energía Solar por Concentración .....26

Tabla 1-2. Comparación entre tecnologías CSP.....32

Tabla 1-3. Comparación de radiaciones global y directa .....33

Tabla 2-1. Definición del objetivo y alcance.....48

Tabla 2-2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....50

Tabla 2-3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.....52

Tabla 2-4. Interpretación del Ciclo de Vida.....53

Tabla 3-1. Objetivo .....56

Tabla 3-2. Alcance .....56

Tabla 3-3. Función, unidad funcional y flujos de referencia.....57

Tabla 3-4. Límites del sistema .....59

Tabla 3-5. Metodología de la EICV .....60

Tabla 3-6. Tipos y fuentes de datos.....61

Tabla 3-7. Requisitos de calidad de los datos .....61

Tabla 3-8. Comparación entre sistemas .....62

Tabla 4-1. Plantas Solares de las que se realizará el ACV .....63

Tabla 4-2. Categorías de Impacto Ambiental.....65

Tabla 4-3. Inventario de Ciclo de Vida de la planta PTC "Andasol I" .....72

Tabla 4-4. Inventario de Ciclo de Vida de la planta LFC “Puerto Errado 2” .....81

Tabla 4-5. Inventario de Ciclo de Vida de la planta SPT “Gemasolar” .....89

Tabla 4-6. Inventario de Ciclo de Vida de la planta PDC “Maricopa” .....96

Tabla 4-7. Interpretación del Ciclo de Vida.....104

Tabla 4-8. Resultados comparativos de impacto ambiental de las 4 tecnologías CSP según las categorías determinadas .....105

Tabla 4-9. Categorías de impacto según área de protección .....107

Tabla 4-10. Análisis de impacto de las tecnologías CSP según cada indicador .....108



## CLÁUSULAS DE DERECHO DE AUTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, José Julián Estrella López, autor de la tesis "**Análisis del impacto ambiental de las tecnologías termo-solares de concentración, usando la herramienta ACV (análisis del ciclo de vida)**", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi Título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 02 de diciembre de 2015

José Julián Estrella López

C. I.: 010442798-4

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



## CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, José Julián Estrella López, autor de la tesis "**Análisis del impacto ambiental de las tecnologías termo-solares de concentración, usando la herramienta ACV (análisis del ciclo de vida)**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 02 de diciembre de 2015

José Julián Estrella López

C. I.: 010442798-4

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



## **Dedicatoria**

*No dedico únicamente una tesis, traducida en algunos meses de trabajo. Hago expresa la dedicatoria de seis años de mi vida; la cuarta parte, casi.*

*Seis años que dediqué a la Universidad, no a una Universidad homogeneizadora y unificadora del pensamiento, estandarizadora de personas y servil a un sistema devastador de la sociedad y la Naturaleza, hacia donde el Poder (los Poderes) la quieren guiar, sino a la Universidad en la que tantas personas, en tantos lugares, en tantas épocas, han creído y a la que han defendido.*

*Una Universidad multiplicadora del pensamiento, creadora, libre, liberadora y libertaria, al servicio de las personas; que, además, las potencie para que, a su vez, sirvan a la sociedad y no a sí mismas, ni al mercado.*

*Seis años dedicados también a compartir con las personas que conforman la Universidad, desde las compañeras y compañeros en un curso, hoy amigas y amigos en la vida; pasando por las empleadas y empleados de la Facultad y de la U; todas las profesoras y profesores que nos quisieron transmitir algo de conocimiento; y terminando en todas las y los estudiantes, de la Escuela y de la U. A ellas y ellos está dedicada esta tesis, porque a ellas y ellos dediqué este tiempo.*

*No puedo dejar de dedicar algo tan importante (no una investigación, sino este tiempo transcurrido y todo el esfuerzo), a quienes hicieron posible que llegue hasta este punto. A mis madres biológica, de enseñanza, de crianza y política. A quienes se adelantaron a conocer el Universo, pero dejaron su huella en mi vida. A mi padre. A las ecobrujas. Sin tantas personas, no existiera, y tal vez no intentaría ser.*

*A la comunidad de Peñas Blancas. A las obreras y obreros del Relleno Sanitario. A los equipos de trabajo de las Aso Escuelas de entre 2012 y 2014. Al equipo de diseño de la Agenda 2014. Al colectivo de los 100 días. A las y los utópicos. A la primera Huella, a la última Huella. A los movimientos ecologista, feminista, indígena y anarquista.*

*Unos pocos nombres, con el perdón de quienes no entran en la hoja, que no es tan grande como el corazón: Sandra, Nidya, Zoila, Nidia, Olimpia, Jaime, Violeta, Rosario, Marina, Rafael, Alan, Carmen, Jairo, Arely, Román, Manuel, Esperanza, Ceci, Fernanda, Chechi, Gaby, Pía, Pancho, Berre, Aurelio, Pepe, Kike, Fernando, Carlos, Adrián, Vicente, Lui, Mayra, Pao, Desiré, Belén, Yamarita, Felipe, Pachi, Ricky, Carlito, Pao, Dani, Juan Luis, Dome, Kupa, Thali, Sofía, Naty, Sole, Anais, Ari, Pachi, Juanita, Ceci, Marcelito...*



## **Agradecimientos**

### ***Por el apoyo en la tesis:***

*A mi Director, Juan Leonardo Espinoza, por su inestimable apoyo desde antes del principio, hasta después del final.*

*Al profesor Ángel Ramírez de la ESPOL, por compartir su tiempo y conocimiento.*

*Al tayta Carlitos Álvarez y al Kike, por el apoyo en las traducciones a kichwa e inglés.*

*A mi madre biológica, por la presión, el aguante y el apoyo, sobre todo el apoyo.*

### ***Por el apoyo en la U:***

*A mis compañeras y compañeros de curso, por el acolegimiento en los trabajos en grupo, en las estudiadas y en las catarsis.*

*A la Yamarita, la Pachi, el Felipe, el Rodolfito y la Loly, por el apoyo académico y burocrático, pero sobre todo por su incondicionalidad.*

*A todas y todos los profes que tuve en estos seis años, sobre todo a quienes fueron un poco más allá en lo que a enseñanza se refiere: Juan Fernando Cisneros, Paco Vásquez, Pepe Astudillo, Jorge García, Paulina Espinoza, Milton Barragán, Miguel Ángel Galarza, Manuel Vega, Silvana Donoso, Nidia Solís.*

*A las personas que creyeron, crearon, recrearon y creen en la utopía. Soñar no es tan difícil, vivir soñando y soñar viviendo, no es solo difícil, es justo, y alegre.*

***Por el apoyo en general, a las mismas personas de la Dedicatoria.***



## Introducción

Según el Panel o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC), la mayor parte del aumento observado en el promedio de las temperaturas desde mediados del siglo XX ha sido causado, con una probabilidad superior al 90%, por el aumento en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) antropogénicas (IPCC, 2011).

Este aumento de GEI, en especial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es proporcional al acrecentamiento progresivo, desde aproximadamente el año 1850 (comienzo de la “Revolución Industrial”) en la utilización de combustibles de origen fósil (carbón, petróleo y gas) en todo el mundo, a tal punto de convertirse en el suministro de energía predominante (IPCC, 2011).

Según el Cuarto Informe de Evaluación (CIE) del IPCC, los datos obtenidos confirman que el consumo de combustibles de origen fósil representan la mayor parte de las emisiones mundiales de GEI de origen antropogénico, 56,6% de las emisiones totales en el año 2004. Las emisiones siguen aumentando y, al término de 2010, las concentraciones de CO<sub>2</sub> eran ya superiores a 390 ppm, un 39% por encima de los niveles preindustriales (IPCC, 2011). Para finales del año 2014, ya se había alcanzado el umbral de las 400 ppm (CO<sub>2</sub> Now, 2014).

Tomando en cuenta estos aspectos, y buscando además cumplir con convenios y pactos internacionales como el Protocolo de Kyoto y los acuerdos que resultan de las cumbres climáticas anuales, la mayoría de países están implementando, entre otras medidas, nuevos sistemas de generación de energía, utilizando energías renovables como la hidroeléctrica, la solar, la eólica, etc.

En el caso de nuestro país, el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 contempla entre sus puntos la diversificación de la matriz energética, con los objetivos específicos de descentralizar la generación y reducir la importación y consumo de combustibles fósiles y contaminantes (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – SENPLADES, 2013).





El IPCC, en su documento “Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático”, indica que hay diversas opciones para disminuir las emisiones de GEI del sistema energético, sin dejar por ello de cubrir la creciente demanda mundial de servicios energéticos. En el CIE se evaluaron algunas de estas opciones, como las relativas a la conservación y eficiencia energéticas, el reemplazo de combustibles de origen fósil, las energías renovables, la energía nuclear, o la captura y el almacenamiento del dióxido de carbono (IPCC, 2011).

En nuestro país, para el cumplimiento del objetivo de diversificación de la matriz energética, el Estado ecuatoriano, a través del Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC, hoy ARCONEL, Agencia de Regulación y Control de Electricidad), estableció en 2008 las condiciones preferentes para los generadores de electricidad que utilicen energías renovables no convencionales mediante la Regulación CONELEC – 004/11 (Anexo I).

En el marco de esta regulación se contempla la tecnología solar termoeléctrica (CSP, “Concentrated Solar Power”) con un cupo de potencia de 10 mega vatios efectivos (MWe) por instalación. Aun así, hasta la fecha no se tiene constancia de ningún proyecto de generación eléctrica con esta tecnología.

Tomando en cuenta este aspecto, y en el marco de su compromiso académico y social con el desarrollo del país, la Universidad de Cuenca colabora en el proyecto “Elaboración de un mapa de irradiación solar directa normal y análisis de aplicaciones industriales, viabilidad tecnoeconómica e impacto ambiental de sistemas termosolares híbridos para el Ecuador”, propuesto por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER y cuyo financiamiento proviene de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación - SENESCYT.

El proyecto, basado en un convenio interinstitucional entre el INER y la Universidad, contempla entre sus principales objetivos: la elaboración de un mapa de irradiación solar normal directa (DNI), el análisis de la viabilidad tecnoeconómica de alternativas de generación con concentradores termosolares y su posible hibridación con otros combustibles como el gas natural y la biomasa, y la evaluación de impacto ambiental global de dichos concentradores mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Siendo un proyecto amplio y multidisciplinario,





Universidad de Cuenca

la presente investigación se centrará únicamente en el último objetivo, referente a la evaluación del impacto ambiental de los concentradores, contribuyendo de esta forma a sugerir la tecnología que de mejor manera cumpla con los requerimientos de eficiencia, costo y reducción de impacto ambiental.

## Capítulo 1 - Energía solar y sus aplicaciones

### 1.1. Introducción

El sol produce energía en forma de radiación electromagnética. Esta energía proviene de las reacciones de fusión que tienen lugar en su núcleo, por las cuales el hidrógeno se transforma en helio (Agencia Andaluza de la Energía, 2011). La radiación solar tiene un efecto térmico (energía térmica) y un efecto fotónico (energía luminosa) (Finder Componentes, 2011). El sol es la fuente energética más grande con la que cuenta la Tierra, y da origen a los recursos que sirven de base para el resto de energías tanto renovables como no renovables; todas las energías, excepto la geotérmica, son generadas directa o indirectamente por el sol, como se puede observar en el gráfico1-1.

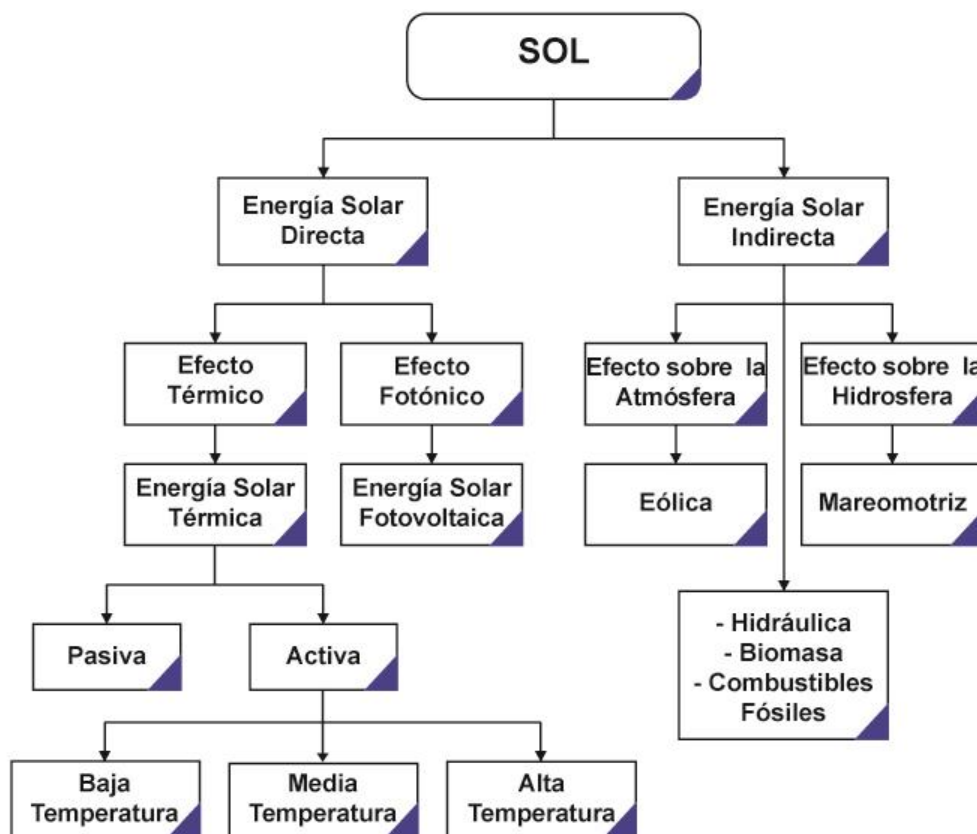


Gráfico 1-1. Energía Solar (Modificado de: Agencia Andaluza de la Energía, 2011; Madridsolar, 2006)

El planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de 1,6 millones de kWh aproximadamente, de los cuales es aprovechable un 40%, una cifra



equivalente a varios cientos de veces la energía que se consume en todo el mundo en el mismo período (Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001). Esta enorme cantidad de energía disponible se manifiesta tanto de forma indirecta como de forma directa.

## **1.2. Energía Solar Indirecta**

La radiación solar es la que causa el movimiento del aire (energía eólica), que a su vez causa el movimiento de las masas oceánicas (energías relacionadas con las mareas: mareomotriz y undimotriz); también hace posible la actividad fotosintética de las plantas, origen de toda la biomasa y los combustibles fósiles. A su vez, la radiación solar es factor predominante en el ciclo del agua, por lo cual también la hidráulica se considera una energía dependiente indirectamente del sol (Madridsolar, 2006).

## **1.3. Energía Solar Directa**

La energía solar directa se puede definir como la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante ciertos dispositivos para su consumo posterior ya sea como energía térmica o eléctrica. El elemento a través del cual se capta la radiación para que pueda transformarse en energía útil es el panel solar, que puede ser de dos clases en función del efecto de radiación con el que se trabaja: si es el efecto térmico, a través de captadores solares térmicos y si es el efecto fotónico a través de módulos fotovoltaicos (Madridsolar, 2006). A su vez, estas dos formas de captación dan origen a lo que se conoce como energía solar térmica y energía solar fotovoltaica, respectivamente.

### **1.3.1. Energía Solar Fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es el producto de convertir, a través de tecnología fotovoltaica, la radiación solar en electricidad; se fundamenta en el efecto fotónico o fotoeléctrico de la radiación (Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001). Para el proceso de conversión se emplea dispositivos denominados celdas o células fotovoltaicas, que básicamente son

semiconductores (generalmente a base de silicio) sensibles a la luz solar; cuando la luz del sol incide en una de las caras de la célula produce corriente eléctrica que será utilizada como fuente de energía (Madridsolar, 2006). El gráfico 1-2 muestra el efecto fotoeléctrico en una celda solar.

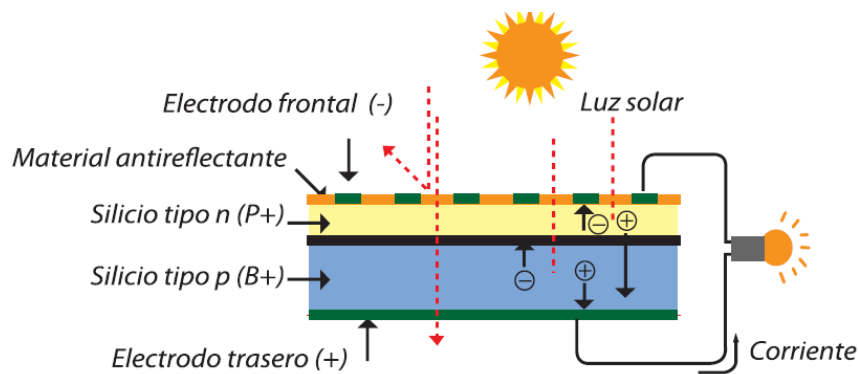


Gráfico 1-2. Efecto fotoeléctrico en una celda solar (Pontificia Universidad Católica de Chile, n.d.)

El conjunto de células se denomina placa o panel fotovoltaico. Además de los paneles, los sistemas fotovoltaicos - SFV se componen de varios equipamientos, como los controladores o reguladores que se usan para evitar carga o descarga excesivas, los inversores para convertir la corriente continua en alterna y las baterías para almacenar la energía (Finder Componentes, 2011; Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001). El gráfico 1-3 presenta los principales componentes de un SFV.

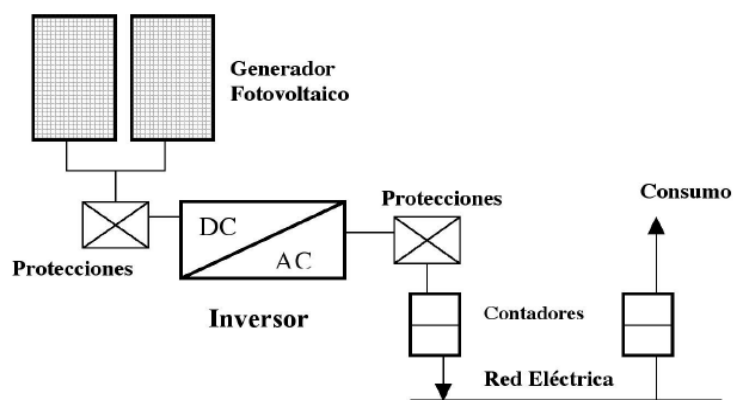


Gráfico 1-3. Principales componentes de un SFV (Madridsolar, 2006)

La energía solar fotovoltaica se aplica en la producción de energía a pequeña escala en domicilios o empresas particulares y a gran escala para consumo a



nivel local e incluso regional. Se puede diferenciar, respectivamente, dos tipos de instalación: A) las aisladas de red, para autoconsumo en viviendas o locales aislados, estaciones repetidoras de telecomunicación, bombeo de agua para riego, etc., y B) las de conexión a red, conocidas como parques o granjas solares, que justamente se conectan a redes eléctricas para su distribución generalizada. A más de eso, tiene multitud de aplicaciones, como la industria aeroespacial, juguetes, lámparas, calculadoras, etc. (Madridsolar, 2006).

### **1.3.2. Energía Solar Térmica**

La energía solar térmica consiste básicamente en concentrar la energía del sol y transformarla en calor aprovechable para diferentes aplicaciones que pueden ser tanto residenciales como industriales (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.). La diferencia con la energía solar fotovoltaica es que la térmica se basa en principios termodinámicos (Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001).

#### **1.3.2.1. Energía Solar Térmica Pasiva**

La energía solar térmica pasiva hace referencia especialmente a la arquitectura bioclimática o arquitectura solar pasiva, en la cual la energía solar es captada, almacenada y distribuida a través de diferentes estructuras en el campo de la construcción. Se trata del aprovechamiento de la energía solar térmica sin transformarla a energía eléctrica y sin necesidad de procesos ni dispositivos complejos, sino únicamente a través del diseño estructural, teniendo en cuenta factores como el entorno, la forma, distribución y orientación de los edificios y los techos y aislamientos. Se aplica para reducir necesidades de calefacción, refrigeración o iluminación (Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001).

#### **1.3.2.2. Energía Solar Térmica Activa**

La energía solar térmica activa consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del sol a través de su concentración, transformación en calor y en

algunos casos generación de energía eléctrica (ATECOS, 2011). El principal componente para el proceso es el captador o colector, a través del cual circula un fluido que absorbe la energía radiada del sol, que se denomina fluido “caloportador” o “calor-portante” (Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001).

El captador, en su estructura más básica, es una caja cerrada cuya base es una placa conductora de calor, por lo general de metal de color negro que capte mayor cantidad de radiación, y con cubierta transparente, generalmente de vidrio, que permite pasar la radiación solar incidente, pero es opaco a la radiación infrarroja emitida por la placa base. El resultado es una trampa de radiaciones solares, en la cual la temperatura al interior de la caja aumentará progresivamente; el principio es el mismo del efecto invernadero (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.).

El proceso continuará con la circulación a través del interior del captador de un fluido caloportador, fundamentalmente agua, aunque en algunos casos se emplea aire (López Cózar, 2006). El calor se transmite al fluido, que se puede hacer circular por el interior de un serpentín o circuito de tubos con la finalidad de asegurar la máxima exposición del fluido al calor generado en la trampa de radiación (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.). El fluido puede usarse directamente, o se puede utilizar un sistema de almacenamiento para su utilización posterior (Madridsolar, 2006). El gráfico 1-4 representa un esquema básico de una instalación térmica.

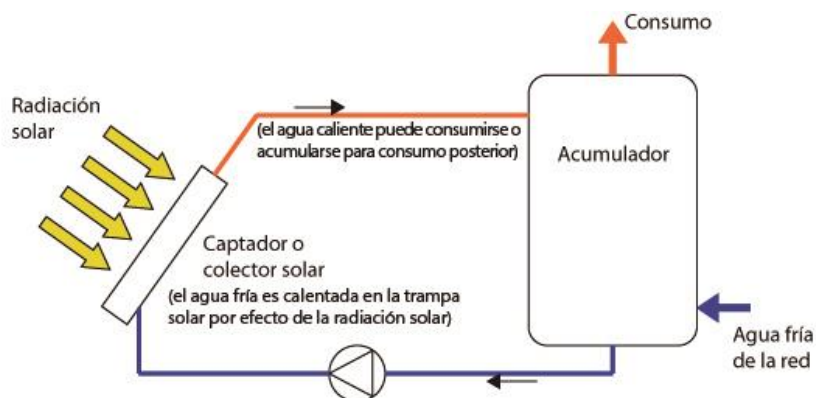


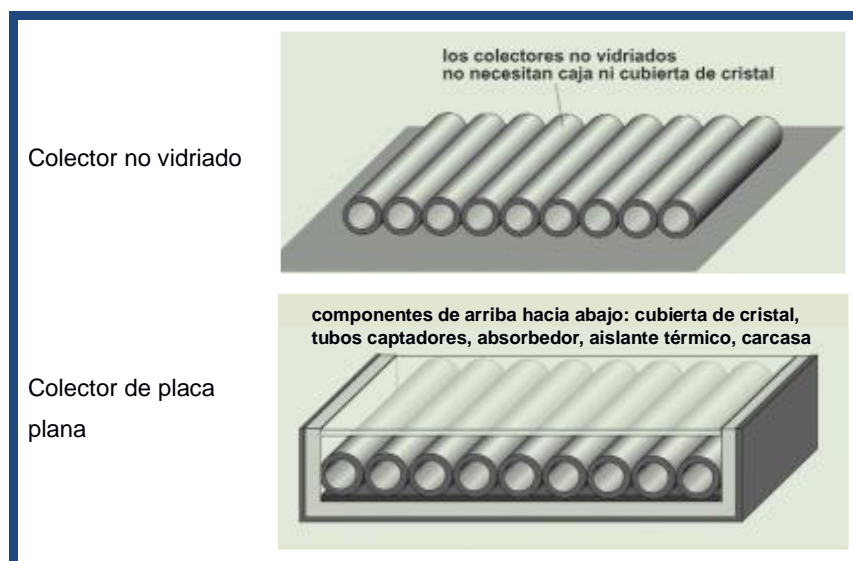
Gráfico 1-4. Esquema básico de una instalación térmica (Modificado de Madridsolar, 2006)

De acuerdo al rango de aprovechamiento térmico, se distinguen tres tipos de energía solar térmica: de baja, media y alta temperatura (ATECOS, 2011).

### 1.3.2.2.1. Energía Solar Térmica de Baja Temperatura

Las tecnologías de energía térmica de baja temperatura emplean temperaturas que en general están por debajo del punto de ebullición del agua, esto es, temperaturas de hasta 80 a 100 °C (ATECOS, 2011; López Cózar, 2006; Madridsolar, 2006; Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001).

Los colectores de baja temperatura no utilizan dispositivos para concentración de los rayos solares; según los materiales y técnicas de captación empleadas, se distinguen especialmente 3 tipos de colectores de baja temperatura, de menor a mayor complejidad técnica: colectores no vidriados, de placa plana, y de tubos de vacío (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.; López Cózar, 2006). El gráfico 1-5 muestra los tipos de colectores solares mencionados.



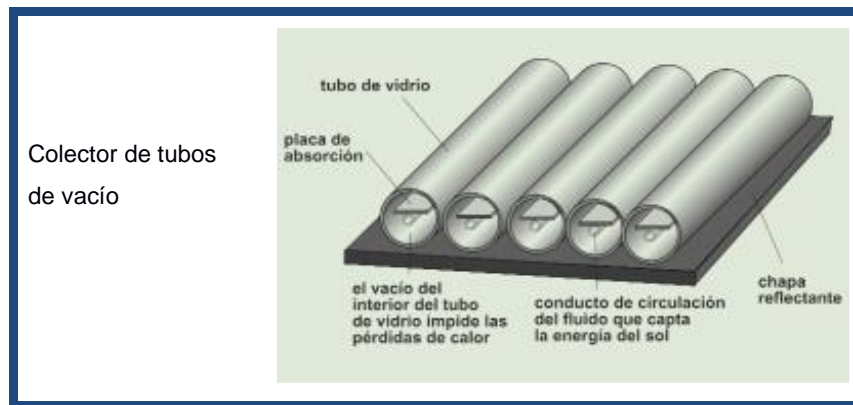


Gráfico 1-5. Tipos de colectores solares de baja temperatura (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.)

La energía térmica de baja temperatura se aplica principalmente para la obtención de agua caliente sanitaria, agua caliente para piscinas y agua o aire caliente para calefacción de viviendas y edificios (ATECOS, 2011; López Cózar, 2006; Madridsolar, 2006).

#### 1.3.2.2.2. Energía Solar Térmica de Media Temperatura

Las tecnologías de energía térmica de media temperatura trabajan con vapor, a temperaturas superiores al punto de ebullición del agua, pudiendo ir de entre 80 a 100 °C a 300 o incluso 400 °C, dependiendo de factores atmosféricos como la presión y factores mecánicos (ATECOS, 2011; Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.; Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001).

La tecnología más empleada es la de colectores cilindro parabólicos que concentran la radiación en un tubo colector que recibe y transmite el calor (Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina, 2001). Los colectores cilindro parabólicos se basan en concentrar la radiación en un punto a través de espejos parabólicos, se construyen en forma de sectores cilíndricos en cuyo foco lineal se coloca la tubería por donde pasará el fluido a calentar, que suele ser aceite (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.).





Este tipo de energía se emplea principalmente en la producción de vapor a presión para procesos industriales, producción de energía eléctrica a pequeña escala (entre 30 y 2000 kW), desalación de agua marina, refrigeración por absorción y descontaminación de gases y aguas residuales (ATECOS, 2011; López Cózar, 2006).

### **1.3.2.2.3. Energía Solar Térmica de Alta Temperatura**

Los sistemas solares térmicos de alta temperatura se refieren a instalaciones a gran escala con temperaturas de trabajo superiores a 400 °C, llegando incluso a superar los 2000 °C (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.; López Cózar, 2006), aunque algunas tecnologías pueden trabajar a partir de 150°C (ATECOS, 2011; Zhang, Baeyens, Degreève, & Cacères, 2013).

La energía térmica de alta temperatura se aplica fundamentalmente para la producción de electricidad a gran escala, aunque tiene aplicación en la producción de hidrógeno, combustibles como bioetanol o biodiesel e incluso experimentos astrofísicos (ATECOS, 2011).

Los colectores de alta temperatura llevan al límite la concentración de radiación solar recibida a través de grandes extensiones de panel en un solo punto. De este tipo son las plantas termoeléctricas, que generan electricidad a través del vapor obtenido, accionando turbinas conectadas a un generador eléctrico (Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, n.d.).

#### **1.3.2.2.3.1. Energía Solar Térmica por Concentración - CSP**

Dentro de las tecnologías de energía térmica de alta temperatura, se encuentran los sistemas de energía solar por concentración ("Concentrated Solar Power" - CSP).

La tecnología CSP utiliza elementos ópticos en forma de espejos con el fin de concentrar la energía solar y convertirla en energía térmica a temperaturas medias (300 a 600 °C) y altas (> 600°C) (ABENER, 2010). Mediante esta energía



se alimenta turbinas, generalmente de aire caliente o vapor, que producen electricidad (ABENER, 2010).

Por lo general, en las plantas CSP la energía solar calienta un fluido (fluido caloportador) que hace funcionar la máquina térmica o turbina según un determinado ciclo termodinámico, el fluido se calienta y transporta la energía térmica que alimenta las turbinas (ABENER, 2010). Las diversas plantas CSP, también llamadas “Plantas Solares Termoeléctricas” o “Centrales Eléctricas Termosolares (CET)” se diferencian entre sí principalmente según el sistema de espejos focalizadores de la energía solar, como se muestra en la tabla 1-1.

Sistema de concentración	Nombres por los que se conoce	Nombre en inglés	Siglas
Captadores cilindro-parabólicos	Captadores Cilindro-Parabólicos, CCPs o “Troughs”	Parabolic Trough Collector	PTC
Tecnología linear Fresnel	Captadores Lineares Fresnel	Linear Fresnel Collector	LFC
Concentradores de espejos múltiples (heliostatos) enfocados sobre una torre	Sistemas de Torre Central	Solar Power Tower	SPT
Captadores de Disco Parabólicos	Captadores de Disco Parabólicos, Captadores de Disco o “Dishes”	Parabolic Dish Collector	PDC

*Tabla 1-1. Sistemas de Energía Solar por Concentración* (Modificado de ABENER, 2010; Barlev, Vidu, & Stroeve, 2011; Siva Reddy, Kaushik, Ranjan, & Tyagi, 2013; Zhang, Baeyens, Degreè, & Cacères, 2013b)

#### **1.3.2.2.3.1.1. Tecnología de Captadores Cilindro Parabólicos - PTC**

La tecnología de captadores cilindro parabólicos - PTC consta de un campo de reflectores dispuestos de forma paralela en dirección Norte-Sur, con geometría cilindro-parabólica, en cuyo foco se encuentra un tubo receptor con superficie selectiva al que se le ha practicado el vacío para reducir las pérdidas térmicas y por el que circula un fluido caloportador (Zhang et al., 2013). La estructura básica puede observarse en el gráfico 1-6.

La estructura de reflectores puede girar en un eje a través de un motor controlado por una computadora que contiene el algoritmo de la posición del sol a lo largo del día. El tubo suele ser metálico, por ejemplo de acero cubierto por una película óptica que sea muy absorbente. A su vez el tubo está rodeado por otro tubo de vidrio pyrex o de cuarzo muy transparentes. Se ha utilizado una gran diversidad de fluidos de transferencia, como sales fundidas, aceites minerales, agua-vapor, etc. (ABENER, 2010).

Las plantas o centrales termosolares con tecnología PTC (gráfico 1-7) operan a temperaturas de 400°C aproximadamente, con una eficiencia de captación del 60-70%. El 96% de la potencia mundial de los sistemas solares termoeléctricos utiliza la tecnología PTC, por lo que presenta una gran madurez tecnológica (Zhang et al., 2013).

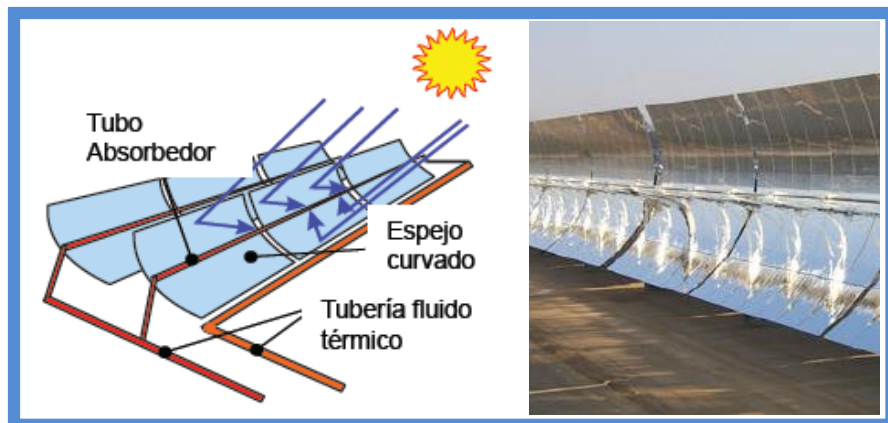


Gráfico 1-6. Captadores Cilindro - Parabólicos (Sánchez, 2013)



Gráfico 1-7. Planta PTC (Sánchez, 2013)

### 1.3.2.2.3.1.2. Tecnología de Captadores Lineales Fresnel - LFC

Los captadores que utilizan la tecnología lineal Fresnel - LFC constan de un conjunto de reflectores lineales casi planos dispuestos paralelamente de forma horizontal en la dirección Norte-Sur. En general, se conoce como sistemas Fresnel a los sistemas que trabajan con reflexión con enfoque lineal (ABENER, 2010). Cada uno de estos reflectores gira de forma independiente alrededor de su eje longitudinal en función de la posición del sol, reflejando la irradiación solar hacia un receptor situado unos metros por encima del eje longitudinal central del conjunto de espejos, como puede observarse en el gráfico 1-8. El receptor dispone de una serie de tubos metálicos por los que se hace circular el fluido caloportador (Zhang et al., 2013).

Los captadores LFC son más económicos que los PTC por sus menores costos de fabricación pero las plantas (gráfico 1-9) operan con una eficiencia energética inferior, del 40-50% a una temperatura de 150-250°C (Zhang et al., 2013).

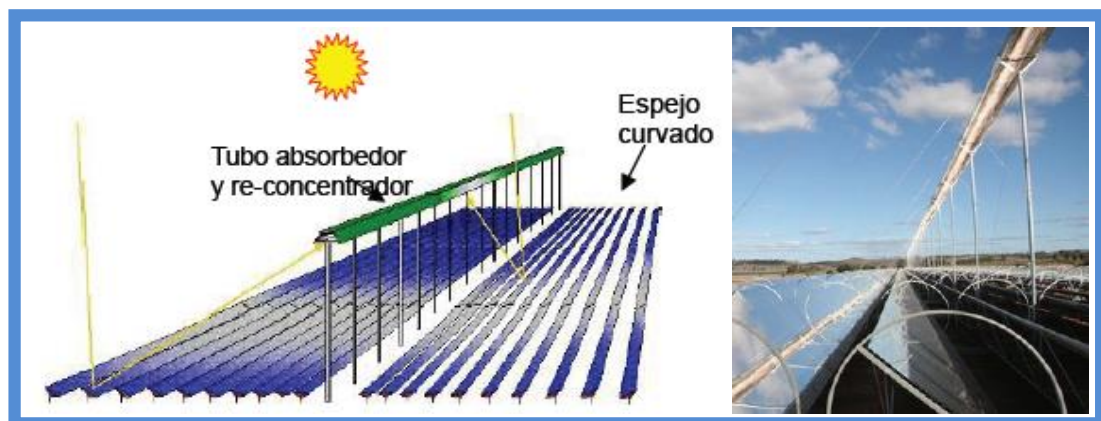


Gráfico 1-8. Captadores Lineares Fresnel (Sánchez, 2013)



Gráfico 1-9. Planta LFC (Sánchez, 2013)

### 1.3.2.2.3.1.3. Tecnología Sistema de Torre Central - SPT

Los sistemas de torre central - SPT disponen de un conjunto de helióstatos (espejos múltiples) alrededor de una torre central en cuya parte superior se sitúa el receptor, como muestran los gráficos 1-10 y 1-11. Un fluido caloportador absorbe parte de la energía recibida por el receptor, que opera a temperaturas entre 150-1500°C (Augsburger, 2013).

Cada espejo tiene una superficie de entre 40 y 120 metros cuadrados aproximadamente y su chasis contiene un sistema de reglaje que permite que los espejos sean concentrados sobre el receptor a través de sistemas de doble eje (ABENER, 2010; Sánchez, 2013).

Una ventaja de estos sistemas es que concentran una cantidad de irradiación solar en una superficie relativamente pequeña del receptor, lo que minimiza las pérdidas térmicas y simplifica la transferencia de calor al fluido caloportador. Todo ello hace que se alcancen eficiencias térmicas del orden del 70% (Augsburger, 2013).

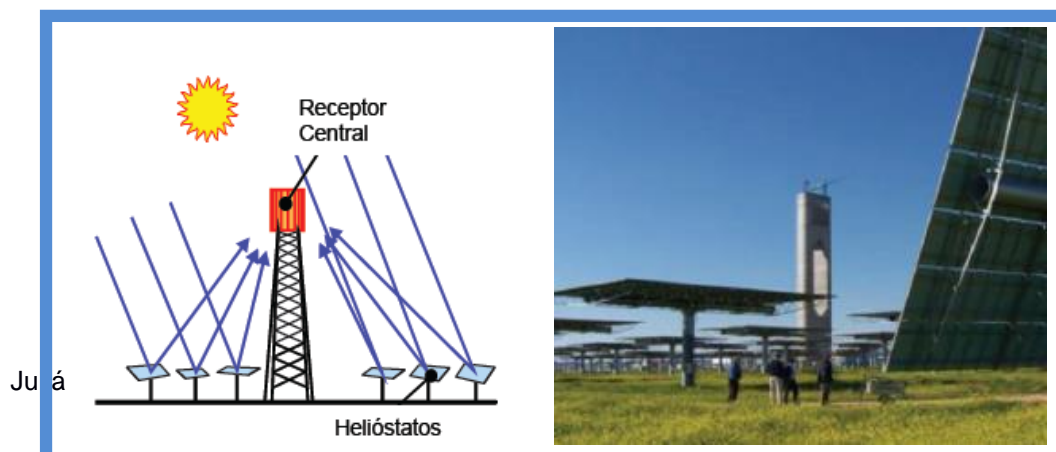


Gráfico 1-10. Sistema de Torre Central (Sánchez, 2013)



Gráfico 1-11. Planta SPT (Sánchez, 2013)

#### 1.3.2.2.3.1.4. Tecnología de Captadores de Disco Parabólicos - PDC

Los sistemas de discos parabólicos - PDC se componen de un conjunto de reflectores con geometría paraboloide (gráficos 1-12 y 1-13), también llamados espejos parabólicos de revolución, en cuyo foco se encuentra un receptor que puede alcanzar temperaturas del orden de  $1500^{\circ}\text{C}$  (Augsburger, 2013).

Pueden llegar a calentar el fluido de la máquina térmica o turbina a temperaturas superiores a los  $600^{\circ}\text{C}$ . Debido a la geometría propia del sistema, el soporte del colector requiere girar con dos grados de libertad, de modo que la radiación incida siempre de forma paralela al eje del espejo (ABENER, 2010).

Habitualmente se acopla un motor térmico Stirling al receptor que está acoplado a su vez a un generador eléctrico. Esta tecnología presenta una alta eficiencia energética pero un costo elevado y una baja fiabilidad (Augsburger, 2013).

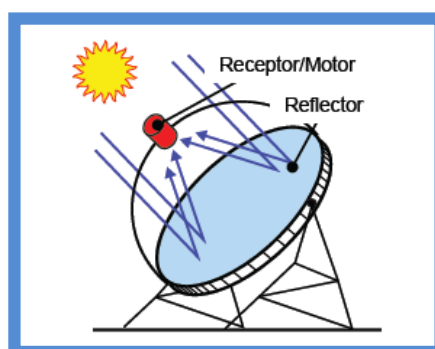




Gráfico 1-12. Concentradores de Discos Parabólicos (Sánchez, 2013)



Gráfico 1-13. Planta PDC (Sánchez, 2013)

### Comparación entre tecnologías CSP

La tabla 1-2 compara las tecnologías de concentración solar citadas anteriormente en términos de capacidad probada, aplicaciones y ventajas y desventajas de cada una. También se incluye el número de plantas que según la National Renewable Energy Laboratory - NREL (2013), de Estados Unidos, existían en el año 2013 de cada una de las tecnologías CSP, considerando centrales en operación, en construcción, en desarrollo, en oferta y las que han dejado de operar.

Tecnología	Potencia máxima probada	Número de Plantas (NREL, 2013)	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
PTC	80 MWe	90	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantas de producción eléctrica conectadas a red</li> <li>- Proceso de producción de calor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponible comercialmente</li> <li>- Máxima eficiencia solar eléctrica</li> <li>- Capacidad de hibridación y almacenamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperaturas moderadas de operación (hasta 400 °C) debido a limitaciones del aceite sintético</li> </ul>



<b>LFC</b>	30 MWe	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantas de producción eléctrica conectadas a red</li> <li>- Proceso de producción de calor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidad de fabricación y bajo costo</li> <li>- Mayor robustez y menor mantenimiento</li> <li>- Sistema de seguimiento sencillo</li> <li>- Uso eficiente del terreno</li> <li>- Generación de vapor directa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperaturas de operación típicas más bajas que los PTC</li> <li>- Tecnología poco consolidada comercialmente</li> </ul>
<b>SPT</b>	20 MWe	21	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantas de producción eléctrica conectadas a red</li> <li>- Proceso de producción de calor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perspectivas de altos rendimientos a medio plazo</li> <li>- Almacenamiento a alta temperatura</li> <li>- Capacidad de hibridación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimaciones de costos escasamente contrastadas</li> </ul>
<b>PDC</b>	1,5 kWe	2 (la una en construcción, la otra dejó de operar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pequeños sistemas de producción eléctrica con y sin conectar a red</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos rendimientos</li> <li>- Modularidad</li> <li>- Capacidad de hibridación</li> <li>- Experiencia operacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe sistemas de almacenamiento comercial a costo competitivo</li> </ul>

Tabla 1-2. Comparación entre tecnologías CSP (Modificado de Sánchez, 2013)

#### 1.4. Potencial de la Energía Solar en el Ecuador

Para tener una referencia del potencial de la energía solar en nuestro país, en la tabla 1-3 se establece una comparación entre las radiaciones directa y global en Ecuador y en las ciudades españolas Granada, Murcia y Sevilla, por ser en donde se ubican las plantas termosolares que serán analizadas en el Capítulo 4.

La radiación, irradiancia o insolación directa, como su propio nombre indica, es la que proviene directamente del sol, sin difuminación ni desvío a su paso por la atmósfera terrestre. La proveniente de esta difuminación o dispersión, es llamada radiación difusa. Mientras, la radiación global es la suma de las radiaciones directa y difusa (Corporación para la Investigación Energética, 2008). La radiación solar se mide en kWh/m<sup>2</sup>.

Los datos se han obtenido del “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, elaborado en 2008 por la Corporación para la





Investigación Energética, CIE, a solicitud del entonces llamado Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC, y del “Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT”. Para el primero se utilizó datos de radiación del período de años 1985-2006, y para el segundo, datos del período 1983-2005, obteniendo el promedio respectivo para los dos intervalos.

Lugar	Radiación global diaria promedio (kWh/m <sup>2</sup> )	Radiación directa diaria promedio (kWh/m <sup>2</sup> )
Ecuador	4,57	2,54
Granada, España	5,2	3,63
Murcia, España	5,13	3,52
Sevilla, España	5,23	3,71

*Tabla 1-3. Comparación de radiaciones global y directa (Elaboración propia con datos de Corporación para la Investigación Energética, 2008; Sancho, Riesco, & Jiménez, 2012)*

En base a la tabla, se puede inferir que nuestro país tiene un gran potencial para la introducción de energía solar en cualquiera de sus aplicaciones, pues si bien la radiación es más baja que en las ciudades de España citadas, a su vez es más constante por estar en zona ecuatorial. También cabe indicar que el dato para Ecuador es un promedio, sin considerar los lugares con mayor radiación, como las provincias de Imbabura, Loja, Pichincha y Santo Domingo. En algunos lugares de estas provincias, la radiación directa llega a 3,9 kWh/m<sup>2</sup>/día, y la global a 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/día (Corporación para la Investigación Energética, 2008).



## Capítulo 2 - Gestión ambiental y Análisis del Ciclo de Vida

### 2.1. Introducción

La gestión ambiental se refiere a “la administración y manejo de todas las actividades humanas que influyen sobre el medio ambiente, mediante un conjunto de pautas, técnicas y mecanismos que aseguren la puesta en práctica de una política ambiental racional y sostenida” (CEPAL/CLADES, 1981). A su vez, la Norma ISO 14001 define la Gestión Ambiental como “aquella parte de la gestión encaminada a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente. Es por tanto una parte inherente de todos los Modelos de Excelencia ya que está relacionada con el impacto de las organizaciones con su comunidad y con las partes interesadas. La gestión ambiental es uno de los tres pilares de la Gestión Sostenible: resultados a largo plazo con respeto ambiental y responsabilidad social” (ISO 14001, 2000).

El concepto de gestión ambiental nació en la década de 1960, debido a la necesidad de insertar el enfoque ambiental en los procesos de toma de decisiones, planificación y gestión de las actividades humanas. De la misma manera, surgió la necesidad de desarrollar instrumentos de todo tipo: administrativos, metodológicos, políticos y técnicos que permitan conseguir una buena gestión ambiental. Tales instrumentos se enmarcan en tres líneas de acción que se atribuyen a la gestión ambiental, como se muestra en el gráfico 2-1 (Villarino, 2010).

Las líneas de acción y los instrumentos de gestión ambiental se explican brevemente en las secciones 2.2 y 2.3, respectivamente.

Otra forma de clasificación de los instrumentos de gestión ambiental es por su carácter, pudiendo ser de orden jurídico, técnico, económico, social y administrativo, como se muestra en el gráfico 2-2. Para el efecto del presente estudio, cabe decir que el Análisis de Ciclo de Vida entraría dentro de los instrumentos administrativos, sin embargo, se analizará desde la perspectiva propuesta por Villarino (2010), donde el ACV es considerado un instrumento corrector.

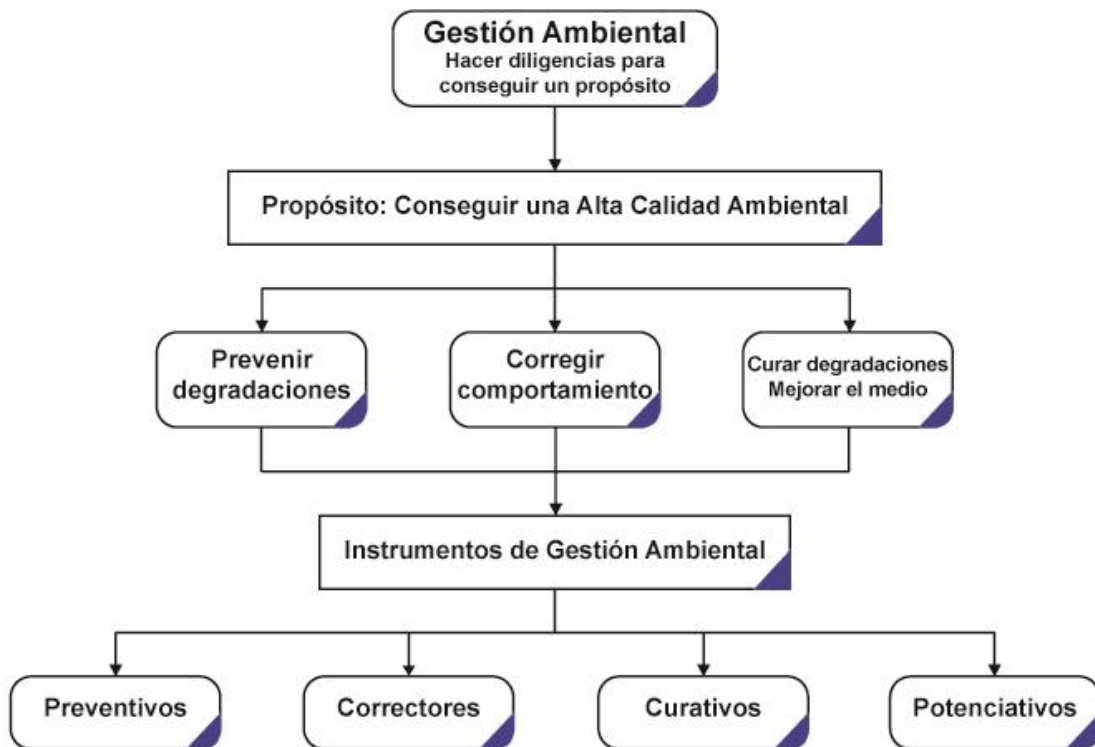


Gráfico 2-1. Gestión Ambiental y sus Instrumentos (Modificado de Villarino, 2010)

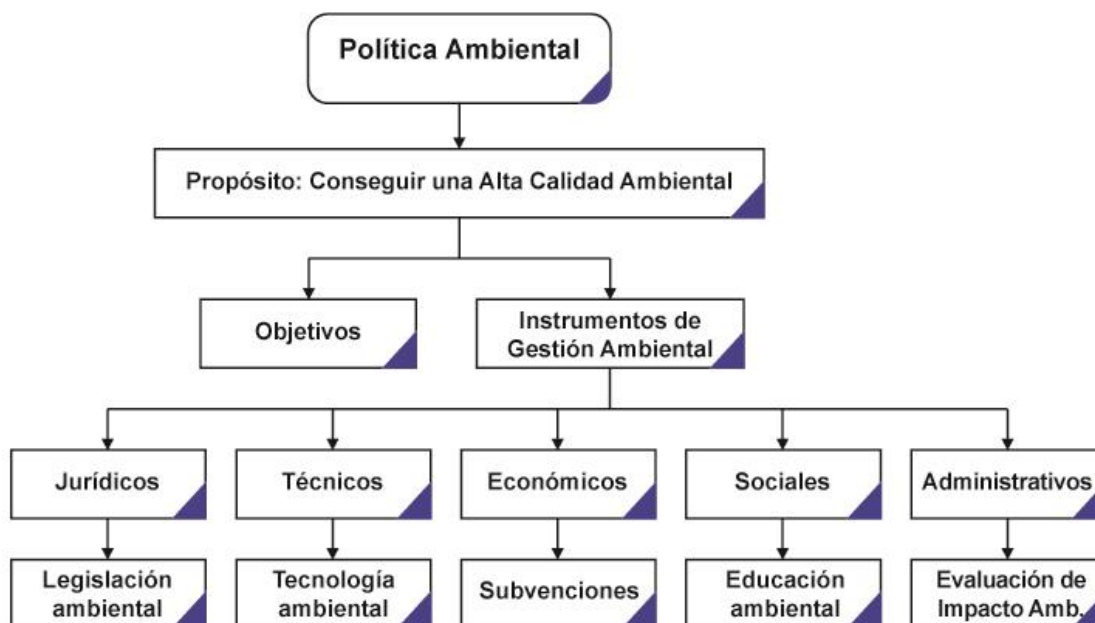


Gráfico 2-2. Instrumentos de Gestión Ambiental según carácter (Modificado de EducaMadrid, n.d.)



## **2.2. Líneas de Acción de la Gestión Ambiental**

### **2.2.1. Prevención de degradaciones**

La línea preventiva se orienta a evitar efectos ambientales en el origen, con un enfoque adaptativo; son los instrumentos que se insertan en la elaboración de los procesos desde sus primeras fases (Villarino, 2010).

### **2.2.2. Corrección de comportamientos**

La línea correctora se orienta justamente a corregir los comportamientos ambientales de los diferentes agentes socioeconómicos. Los instrumentos correspondientes se basan en el principio “lo verde, vende” (Villarino, 2010).

### **2.2.3. Curación de degradaciones**

La línea curativa se orienta a la mitigación de los impactos ambientales que se producen durante las diferentes fases de las actividades humanas (Villarino, 2010).

## **2.3. Instrumentos de Gestión Ambiental**

Los instrumentos de gestión ambiental vienen determinados por las líneas de acción, correspondiendo los preventivos, correctores y curativos a las líneas preventiva, correctora y curativa, respectivamente. A más de estos instrumentos, Villarino (2010) plantea la existencia de instrumentos potenciativos y contempla de manera separada otros instrumentos.

### **2.3.1. Instrumentos Preventivos**

Los instrumentos preventivos buscan evitar que se produzcan impactos negativos desde las primeras fases de los procesos; se pueden clasificar en instrumentos primarios, secundarios y de gestión (Orea & Villarino, 2013).

- Primarios: educación, sensibilización, formación, compromiso ambiental.



- Secundarios: desarrollo de legislación, bases de datos, autorización ambiental integrada, análisis de riesgo ambiental, entre otras.
- De gestión: evaluación de impacto ambiental (EIA), evaluación ambiental estratégica (EAE), instrumentos de ordenamiento territorial (OT), otros (Villarino, 2010).

De estos instrumentos, los que más se utilizan son los siguientes:

- Evaluación de impacto ambiental: la evaluación de impacto ambiental (EIA) es un proceso cuya operatividad y validez como instrumento preventivo es recomendado por diversos organismos internacionales; además está incorporada en gran cantidad de ordenamientos jurídicos de los países. La EIA está relacionada al cumplimiento anticipado de políticas ambientales, a través de pasos y métodos que permiten caracterizar las implicaciones de las acciones humanas sobre el ambiente. El propósito es asegurar, en lo posible, que dichas acciones sean sostenibles, para lo cual se utiliza un proceso que predice, analiza e interpreta los impactos ambientales significativos, de manera que sean incorporados en la toma de decisiones (Espinoza, 2006).
- Evaluación ambiental estratégica: busca la integración del medio ambiente en el proceso de formulación de políticas, planes y programas, y luego la verificación y seguimiento de los mismos. Para esta integración se insertan principios de sensibilidad, criterio, conocimiento y compromiso ambiental en la planificación. La verificación luego comprueba si se realizó el esfuerzo de integración y se evalúa el resultado conseguido mediante identificación, valoración y seguimiento de los impactos (Orea & Villarino, 2013).
- Autorización ambiental integrada: este instrumento pretende un enfoque ambiental integrado, esto es, evitar o reducir al mínimo los efluentes negativos para el aire, el agua y el suelo considerando sus interconexiones (Orea & Villarino, 2013).
- Análisis de riesgo ambiental: es un procedimiento para el cálculo cualitativo y cuantitativo de probabilidad de que ocurra un efecto adverso,



y su grado de severidad, sobre la salud pública o el medio ambiente. En la Conferencia de Río de Janeiro de 1992 se determinó que el análisis o evaluación de riesgos ambientales es el mejor enfoque para controlar los efectos negativos causados por la utilización de productos químicos (Orea & Villarino, 2013).

- Compromiso ambiental: se refiere a la voluntad o compromiso voluntariamente contraído para la mejora de procesos orientado a disminuir los impactos ambientales. Se aplica para todo tipo de actividad, y se formaliza según el lugar y los objetivos, que pueden ser de simple cumplimiento legal o de mejorar más allá de las exigencias (Orea & Villarino, 2013).

### **2.3.2. Instrumentos Correctores**

Los instrumentos correctores o correctivos se dirigen al mejoramiento de los agentes y actividades que generan impactos ambientales para reducirlos y evitarlos. Se basan en el principio “lo verde, vende”, esto es, los procesos amigables con el medio ambiente son mejor valorados por la sociedad. Pretenden informar a las personas, potenciales beneficiarias de los productos o servicios, acerca de los procesos y productos gestionados con sensibilidad, compromiso, conocimiento y criterio ambiental (Orea & Villarino, 2013). En este grupo se tienen instrumentos orientados a los procesos productivos y aquellos orientados a productos y servicios.

#### **2.3.2.1. Instrumentos orientados a los procesos productivos**

Se refieren a los sistemas normalizados de gestión ambiental, que engloban el sistema general de gestión de las empresas y organizaciones productivas, abarcando el análisis de la estructura organizativa, las responsabilidades, la misión y visión, las prácticas y procedimientos, los procesos y los recursos que determinan la política ambiental. Se asocian a la auditoría ambiental, que es una herramienta encaminada a la evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de las actividades productivas con el fin de evaluar su situación con



referencia a los requerimientos o estándares de calidad ambiental (Orea & Villarino, 2013).

### **2.3.2.2. Instrumentos orientados a los productos o servicios**

Se refieren a instrumentos que evalúan en lo posible todos los procesos inherentes a la elaboración de un producto determinado o la prestación de un servicio, y que pueden causar efectos adversos en el ambiente. A su vez, informan a las personas de todos los impactos asociados a los productos o servicios, fomentando la preferencia por aquellos que menor impacto causen.

Dentro de estos instrumentos, además del Análisis de Ciclo de Vida a ser tratado en el punto 2.4, se destacan:

- Etiquetado ecológico: pretende fomentar la oferta y demanda de bienes y servicios con impacto ambiental menor en todo el ciclo, “de la cuna a la tumba”. Se encuentra estrechamente relacionado con el ACV. Existe diversidad de “ecoetiquetas” que pueden agruparse principalmente en tres tipos asociados a la normativa ISO 14020:2992: Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales:
  - ISO 14024:2001. Etiqueta tipo I: se otorga a los productos previo análisis multicriterio de su ciclo de vida.
  - ISO 14021:2002. Etiqueta tipo II: “autodeclaraciones” ambientales, comunicadas por empresas.
  - ISO 14025:2007. Declaración ambiental tipo III: cuantificación acerca del ciclo de vida, que permite comparar productos de similares funciones (Orea & Villarino, 2013).
- Etiquetado relativo a la agricultura ecológica: son certificados que las empresas y organizaciones relacionadas a la agricultura ecológica o agroecología solicitan para mejorar sus prestaciones ambientales e imagen ante las y los consumidores (Orea & Villarino, 2013).



- Responsabilidad social corporativa: el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD por sus siglas en inglés) define la responsabilidad social corporativa como “el compromiso continuo de empresas y otras entidades, de adoptar una conducta ética y de contribuir al desarrollo económico y social” (WBCSD, n.d.)
- Bolsa de residuos: instrumento que busca convertir los efluentes producidos en una actividad antrópica en subproductos útiles ya sea reciclándolos o reusándolos. Consiste en un boletín, escrito o digital, en el cual una entidad declara sus efluentes, sus características y cantidades. El boletín se reparte a otras entidades con el objetivo de que, si les sirve, se pongan en contacto con la entidad emisora y puedan hacerse cargo de los efluentes (Orea & Villarino, 2013).
- Huella ecológica: es una herramienta que permite determinar la carga que impone una población a la naturaleza, representada por la superficie de suelo (hectáreas/persona) que la población necesitaría para extraer todos los productos de los cuales se beneficia y para depositar los efluentes que emite. Es un instrumento de sensibilización social y un indicador de sostenibilidad que se puede aplicar en el ámbito local, regional, nacional o global. La huella total se compone de la huella de alimentos, energética, de residuos, de utilización de agua, de vivienda, de infraestructuras y servicios y de las instalaciones que producen los bienes de consumo (Global Footprint Network, 2015; Orea & Villarino, 2013).
- Huella de carbono: es un cálculo de las emisiones directas de CO<sub>2</sub> y de gases de efecto invernadero - GEI, así como la equivalencia en estos datos del consumo de elementos y de los gases que se dejan de absorber por ocupación de espacios bioproductivos; es un indicador integrado que puede llegar a expresar todo el impacto físico de la actividad humana (Doménech, 2011). Existen varias metodologías para su cálculo como el protocolo GHP de la WBCSD, y se han desarrollado etiquetas específicas acerca de este instrumento (Orea & Villarino, 2013).





### **2.3.3. Instrumentos Curativos**

Los instrumentos curativos se dirigen a la remediación o mitigación de los impactos negativos generados por las diferentes actividades productivas sobre los diferentes factores ambientales, agua, suelo, aire, etc. Orea y Villarino (2013), distinguen 4 fines principales:

- Restauración: volver a la situación ambiental que se tenía antes de las alteraciones.
- Reforma: crear las condiciones necesarias para que los ecosistemas se reequilibren y se desarrolle un ecosistema estable.
- Rehabilitación: realizar un tratamiento que se oriente a dar al espacio afectado un uso o aprovechamiento distinto del inicial, pero que se pueda considerar satisfactorio.
- Poner en valor recursos ociosos: crear condiciones para que los subproductos puedan ser aprovechados.

Para alcanzar estos fines se cuenta con las tecnologías correspondientes en materia de conservación y restauración. Las más desarrolladas son las inherentes a la recuperación de espacios degradados por actividades industriales y productivas de gran escala, como las actividades mineras, deposición de desechos sólidos, deforestación, etc. (Orea & Villarino, 2013).

### **2.3.4. Instrumentos Potenciativos**

También llamados instrumentos potenciadores, hacen referencia a actividades orientadas a mejorar los ecosistemas y a motivar, ya sea mediante incentivos o sanciones a las empresas y otros agentes socioeconómicos, a ser amigables con el ambiente. Entre los más desarrollados se puede mencionar:

- Tecnologías para aumentar la resiliencia o capacidad de los sistemas o factores ambientales para soportar alteraciones. Por ejemplo, un río caudaloso de régimen turbulento tiene una alta resiliencia a la contaminación; si su caudal disminuye y su régimen cambia a laminar, disminuirá la resiliencia, y podrá ser alterado con mayor facilidad. El



objetivo del instrumento consiste en tratar los factores que se pueden ver afectados a fin de reducir su vulnerabilidad (Orea & Villarino, 2013).

- Tecnologías para mejorar la homeostasia de los ecosistemas, esto es, su capacidad para reaccionar ante influencias externas, lo que implica aumentar la reversibilidad del sistema. Por ejemplo, un ecosistema extenso, maduro y vigoroso reacciona más fácilmente a las alteraciones y las absorbe con rapidez. Con las tecnologías actuales, o a través de medidas de conservación, se puede aumentar la extensión y vigor de los ecosistemas, aumentando su homeostasis (Orea & Villarino, 2013).

### **2.3.5. Otros Instrumentos**

Se refieren a instrumentos de otro carácter, especialmente legales, financieros y fiscales, no contemplados en los otros grupos. Se puede resaltar los siguientes:

- Impuestos: son la herramienta más utilizada para tratar lo que denomina externalidades y que repercuten en el comportamiento acerca del ambiente de las entidades económicas. Pueden ser directos sobre las emisiones, o indirectos sobre bienes y servicios (Orea & Villarino, 2013).
- Regulaciones legales: elaboración de normativa que imponga límites y regule las actividades de potencial impacto ambiental (Orea & Villarino, 2013). En nuestro país se identifica el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), y leyes relacionadas a cada factor ambiental, como el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) y la Ley de Aguas, así como las ordenanzas específicas expedidas en las diferentes ciudades del Ecuador.
- Subsidios y ayudas financieras: herramienta orientada a facilitar el acceso a tecnologías limpias (Orea & Villarino, 2013). En Ecuador, por ejemplo, son conocidos los incentivos financieros para la compra de vehículos híbridos y eléctricos.



- Intervención directa en los mercados: herramienta administrativa que permite incidir en los precios de los bienes de consumo y servicios considerando las implicaciones de impactos ambientales (Orea & Villarino, 2013).

## **2.4. Análisis del Ciclo de Vida - ACV**

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV o LCA: Life Cycle Assessment) consiste en un proceso objetivo y sistemático a través del cual se busca identificar y cuantificar las cargas ambientales, es decir la cantidad de influentes y efluentes que el producto, proceso, actividad o servicio extrae o incorpora de su entorno a lo largo de todo su ciclo de vida (Orea & Villarino, 2013). Al igual que en el etiquetado ecológico, se usa la expresión “desde la cuna hasta la tumba” es decir, desde el momento en el que se extraen las materias primas hasta cuando se devuelven a la naturaleza en forma de residuos y emisiones (Cruz, 2014).

El ciclo incluye todas las etapas y procesos del producto o servicio. La Norma ISO 14040 define el ACV como una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto o servicio mediante un inventario completo de las entradas y salidas ambientalmente relevantes del sistema, una evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados a cada entrada y salida y un análisis e interpretación de los resultados de las fases de inventario e impacto referido a los objetivos del estudio. Esta herramienta forma parte de la política integrada de producto o servicio y se orienta a la mejora continua del comportamiento ambiental del mismo a lo largo de todo su ciclo de vida (Orea & Villarino, 2013).

El ACV se aplica fundamentalmente para el cumplimiento de los siguientes objetivos, que se complementan entre sí (Orea & Villarino, 2013; Romero, 2010):

- Conocer las posibles consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o utilización de un servicio y mejorar el comportamiento ambiental.
- Comparar los diversos elementos del ciclo de vida de un producto o proceso y con otros productos o procesos.



- Obtener la etiqueta ecológica de acuerdo con la regulación establecida por las normas ISO 14040-14045, 14020 y 14024.

El ACV se emplea para obtener un marco sistemático que permita identificar, cuantificar, interpretar y evaluar los impactos ambientales de un producto, proceso o servicio de manera ordenada; es una herramienta de diagnóstico que se puede utilizar para comparar diferentes productos, procesos o servicios entre sí y con las diferentes normativas (Cruz, 2014).

#### **2.4.1. Origen y evolución del ACV**

El ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa durante los años 1970s; grupos como Midwest Research Institute (MRI) y Franklin Associates Ltd. realizaron más de 60 análisis a través de métodos de entradas y salidas juntándolos con cálculos de energía. Entre 1970 y 1974, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) realizó 9 estudios acerca de envases para bebidas. La aplicación del ACV se incrementó a partir de los años 1980, haciéndose además de acceso público (Romero, 2010).

La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) es la organización que principalmente ha liderado y desarrollado las discusiones científicas acerca del ACV. En 1993 formuló el primer código internacional, a fin de estandarizar las metodologías para los estudios. Posteriormente la Organización Internacional de Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés) apoyó la normalización, para establecer una estructura general de trabajo y uniformizar métodos, procedimientos y terminologías (Romero, 2010).

Luego de 40 años de su surgimiento, el ACV ha tenido una gran evolución, aunque aún se la considera en etapa temprana de desarrollo; para el 2010, la mayoría de ACV aplicados tomaban en cuenta únicamente la fase de inventario, considerándose parciales, y casi la mitad de ACV se aplicaba en el sector de envases, seguidos de la industria química y el plástico, los materiales de construcción y los sistemas energéticos (Romero, 2010).

### 2.4.2. Fases del ACV

Las fases del ACV son etapas ordenadas para obtener de la manera más rigurosa un análisis completo del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio, y corresponden al paquete de normas ISO 14040:2006 (Romero, 2010); su estructura se suele representar como una casa de cuatro habitaciones, como se muestra en el gráfico 2-3.

Las fases se interrelacionan y siguen una secuencia más o menos definida, aunque cuando se requiere estudios menos rigurosos se puede obviar alguna fase (Romero, 2010).

De acuerdo con el estándar ISO 14040:2006, las cuatro fases son: definición de los objetivos y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de resultados (International Organization for Standardization - ISO, 2006a). Las fases 1 y 4 se consideran estáticas, mientras que la 2 y la 3, en que se recopilan y evalúan los datos, se consideran activas o dinámicas. Como puede observarse en el gráfico 2-4, el ACV es un proceso que se retroalimenta a medida que se realiza; así, a partir de resultados de una fase se puede reconsiderar las hipótesis de la fase anterior y redireccionarla hacia el camino ofrecido por los conocimientos adquiridos (Romero, 2010).

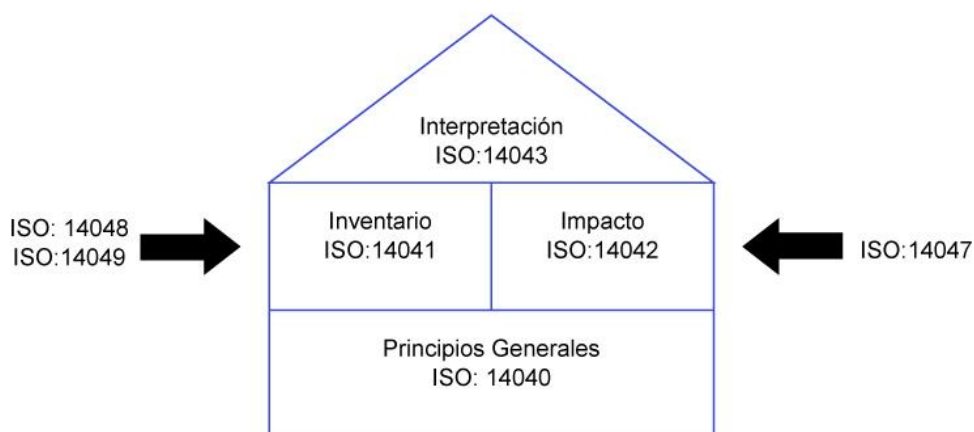


Gráfico 2-3. Estructura del ACV (Modificado de Romero, 2010)

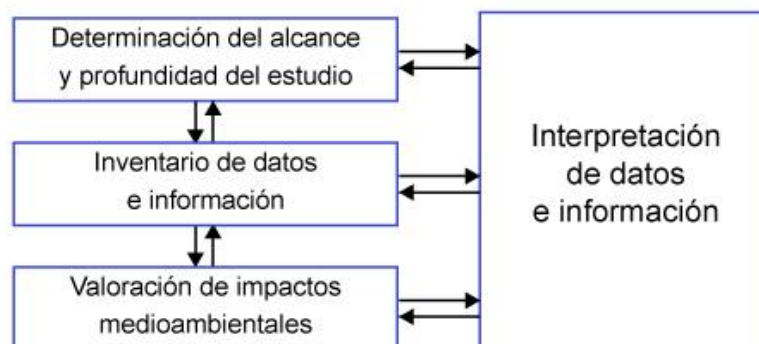


Gráfico 2-4. Esquema de las etapas del ACV (Modificado de Life, 2004)

### 2.4.2.1. Definición del objetivo y alcance

La definición del objetivo y alcance del ACV es necesaria como marco referencial del trabajo que se realizará. En esta fase se describen las razones del estudio, así como lo que se espera obtener. Asimismo, se define los criterios con los que se trabajará de acuerdo al producto, proceso o sistema objeto de estudio. Las normas ISO 14040:2006, “Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia” e ISO 14044:2006, “Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices” determinan los contenidos que debe tener esta etapa del análisis, como se muestra en la tabla 2-1.

Definición del Objetivo y Alcance				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.2	4.2	Definición del Objetivo y Alcance		
5.2.1	4.2.1	Generalidades		
5.2.1.1	4.2.2	Objetivo	Aplicación prevista	<i>En qué se aplicará</i>
			Razones del estudio	<i>Por qué se realiza el estudio</i>
			Público previsto	<i>A quién se comunicará los resultados</i>
			Divulgación pública	<i>Si se divulgará los resultados</i>
5.2.1.2	4.2.3, 4.2.3.1	Alcance	Producto o proceso a estudiar	<i>Qué se estudiará</i>
			Procesos unitarios	<i>Procesos y funciones del sistema</i>
			Unidad funcional	<i>Referencia para comparación</i>
			Límites del sistema	
			Categorías de impacto	<i>Factores a evaluar, metodología, interpretación</i>
			Requisitos de datos	
			Suposiciones	
			Limitaciones	
			Informe requerido	<i>Formato y tipo de informe requerido</i>
5.2.2	4.2.3.2	Función, unidad funcional y flujos de referencia	Función	<i>Funciones que se cumplen durante el proceso</i>
			Unidad funcional	<i>Criterio de desempeño referencial</i>
			Flujos de referencia	<i>Cantidad de materia y energía para cumplir la función</i>



Definición del Objetivo y Alcance				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.2.3	4.2.3.3, 4.2.3.3.1, 4.2.3.3.2	Límites del sistema	Procesos unitarios	<i>Definición de procesos unitarios</i>
			Elección de elementos de análisis	<i>Depende del objetivo, alcance, restricciones de datos y criterios de corte</i>
			Especificación de etapas y procesos	<i>Documentar etapas y procesos</i>
			Diagrama de flujo de procesos	<i>Procesos unitarios e interrelaciones; entradas, salidas, operaciones y destino de productos</i>
			Criterios de corte	<i>Criterios para decidir entradas a evaluar; masa, energía e importancia ambiental</i>
			<i>Criterios a considerar: adquisición de materias primas, entradas y salidas, distribución/transporte, producción y utilización de energía, utilización y mantenimiento de productos, disposición final, recuperación de productos, producción de subproductos, producción, mantenimiento y desmantelamiento de equipos, operaciones adicionales</i>	
	4.2.3.4	Metodología de la EICV y tipos de impacto	Categorías de impacto	<i>Coherentes con objetivo de estudio y considerarse como se describe en 4.4.2.2</i>
			Indicadores de categoría	
			Modelos de caracterización	
	4.2.3.5	Tipos y fuentes de datos		<i>Depende del objetivo y alcance. Mezcla de datos medidos, calculados y estimados</i>
5.2.4	4.2.3.6, 4.2.3.6.1, 4.2.3.6.2, 4.2.3.6.3	Requisitos de calidad de los datos	Características de los datos necesarios para el estudio	<i>Ayuda a determinar la fiabilidad de los resultados</i>
			Tratamiento de datos faltantes	<i>Documentación de cómo se ha procedido con datos faltantes</i>
			Criterios básicos	
			Tiempo	<i>Antigüedad de datos y tiempo de recopilación</i>
			Geografía	<i>Área geográfica de recopilación</i>
			Tecnología	<i>Tecnología específica utilizada</i>
			Precisión	<i>Variabilidad de valores</i>
			Integridad	<i>Porcentaje del flujo que se ha medido</i>
			Representatividad	<i>Grado en que se refleja la situación real</i>
			Coherencia	<i>Si la metodología se aplica de manera uniforme</i>
			Reproductibilidad	<i>Si la información puede ser reproducida</i>
			Fuentes	
			Incertidumbre de la información	<i>Datos, modelos y suposiciones</i>



Definición del Objetivo y Alcance				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
	4.2.3.7	Comparaciones entre sistemas	Criterios similares	Misma unidad funcional y consideraciones metodológicas equivalentes como desempeño, límites, calidad de datos, etc.
			Documentación de diferencias	Identificar e informar cualquier diferencia entre los sistemas en cuanto a parámetros
	4.2.3.8	Consideraciones de la revisión crítica		Se define en el alcance si es necesaria y cómo se realizará

Tabla 2-1. Definición del objetivo y alcance (Elaboración propia con información de ISO, 2006)

### 2.4.2.2. Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El Análisis del Inventario de Ciclo de Vida implica la recopilación de todos los datos y la determinación de procedimientos de cálculo para la cuantificación de las entradas y salidas correspondientes a un producto, proceso o servicio. Este análisis es un proceso iterativo, en el cual a medida que se recopilan los datos se puede identificar nuevos requisitos o limitaciones que requieran cambios en el procedimiento recopilatorio para el cumplimiento de los objetivos del estudio. Incluso a veces algunos asuntos pueden requerir la revisión del objetivo y el alcance de la investigación (International Organization for Standardization - ISO, 2006a). Las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 presentan una serie de temas que debería contener el ICV, como se muestra en la tabla 2-2. Asimismo, en el gráfico 2-5 se puede ver el esquema del ICV.

Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.3	4.3	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)		
5.3.1	4.3.1	Generalidades	Recopilación de datos	El ICV es un proceso iterativo; a medida que se recopilan datos, se puede identificar nuevos requisitos y cambiar procedimientos
			Procedimientos de cálculo de entradas y salidas	



Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.3.2	4.3.2, 4.3.2.1, 4.3.2.2, 4.3.2.3	Recopilación de datos	Datos por proceso unitario	<i>Datos cualitativos y cuantitativos registrados por proceso; referenciar fuente; señalar si los datos no cumplen requisitos de calidad</i>
			Medidas para comprensión uniforme y coherente	<i>Diagramas de flujo de procesos específicos, interrelaciones; detalle de cada proceso unitario; flujos y datos de condiciones operativas; descripción de técnicas de recopilación de datos, otros</i>
			Principales títulos de clasificación de datos	
			Entradas de energía, materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas	<i>Proceso iterativo en materia de recursos; tener en cuenta limitaciones prácticas en el alcance, y documentarse en el informe. Detallar datos individuales de cada título</i>
			Productos, coproductos y residuos	
			Emisiones al aire, vertidos al agua y al suelo	
			Otros aspectos ambientales	
5.3.3	4.3.3, 4.3.3.1, 4.3.3.2, 4.3.3.3, 4.3.3.4	Cálculo de datos	Validación de los datos	<i>Verificar que se cumplen requisitos de calidad de datos; realizar balances de materia, energía y análisis comparativos</i>
			Relación de los datos con los procesos unitarios y la unidad funcional	<i>Determinar flujo por cada proceso; datos de entrada y salida referenciados a unidad funcional</i>
			Relación de los datos con el flujo de referencia	
			Ajuste de los límites del sistema	<i>Revisión de límites iniciales del sistema; documentar resultados del proceso de ajuste</i>



Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.3.4	4.3.4, 4.3.4.1, 4.3.4.2, 4.3.4.3, 4.3.4.3.1, 4.3.4.3.2, 4.3.4.3.3, 4.3.4.3.4	Asignación de flujos, emisiones y vertidos	Documentación	<i>Documentación y explicación de asignaciones de entradas y salidas</i>
			Evitar asignación	<i>Dividir proceso unitario a asignar en subprocesos de los cuales obtener más datos</i>
			Asignación por relación física	<i>Separar entradas y salidas entre los productos y funciones que reflejen relación física existente</i>
			Asignación por relación no física	<i>Cuando no se puede realizar la primera; puede ser otra relación, como el valor económico</i>
			Diferenciación entre coproductos y residuos	<i>Identificar proporción; asignar entradas y salidas a coproductos</i>
			Procedimiento de asignación para la reutilización y reciclado	<i>Tomar en cuenta ciclos cerrados y abiertos para cada proceso unitario o sistema</i>

Tabla 2-2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (Elaboración propia con información de ISO, 2006)

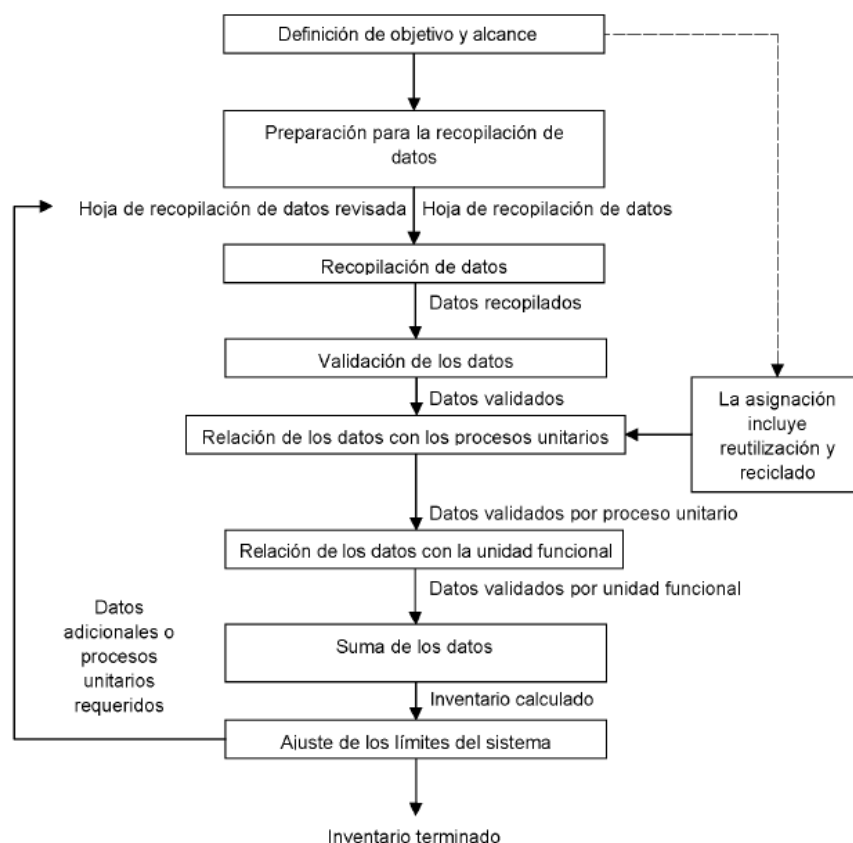


Gráfico 2-5. Esquema de ICV (International Organization for Standardization - ISO, 2006b)



### 2.4.2.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida tiene como fin evaluar cuantitativa y cualitativamente los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del ICV. El proceso implica la asociación de los datos de inventario con las categorías de impactos ambientales específicos y sus respectivos indicadores. La EICV proporciona además información para la fase de interpretación del ciclo de vida (International Organization for Standardization - ISO, 2006a). Al igual que las otras fases, la EICV implica un proceso de iteración en que se revisa y puede incluso plantearse la modificación del objetivo y el alcance, para garantizar su cumplimiento (International Organization for Standardization - ISO, 2006a).

Las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006 determinan los elementos que debería contener una EICV, como se muestra en la tabla 2-3.

Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.4	4.4	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)		
5.4.1	4.4.1	Generalidades	Evaluación de impactos ambientales	<i>Se utiliza los resultados del ICV</i>
			Asociación de datos	<i>Con categorías de impacto ambiental e indicadores</i>
			Información para fase de interpretación	
			Revisión de objetivo y alcance	<i>Cumplimiento de objetivos</i>
			Transparencia	<i>Suposiciones claramente descritas para evitar subjetividades</i>
5.4.2	4.4.2, 4.4.2.1, 4.4.2.2, 4.4.2.2.1, 4.4.2.2.2, 4.4.2.2.3, 4.4.2.2.4, 4.4.2.3, 4.4.2.4, 4.4.2.5	Elementos de la EICV (ISO 14044, elementos obligatorios)	Separación en elementos diferentes	<i>Distinción; evaluación para cada elemento; transparencia en suposiciones</i>
			Elementos	
			Categorías de impacto, indicadores y modelos de caracterización	<i>Referencia de información y fuentes; reflejo de asuntos ambientales inherentes</i>
			Asignación de resultados del ICV (clasificación)	<i>Asignación de resultados del ICV para cada categoría de impacto y en general</i>
			Cálculo de resultados del indicador de categoría (caracterización)	<i>Conversión de resultados del ICV a unidades comunes; suma de resultados</i>
			Resultados de la EICV	<i>Compilación de los resultados de indicadores; conjunto de resultados de inventario</i>

Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.4.2	4.4.3, 4.4.3.1, 4.4.3.2 4.4.3.2.1, 4.4.3.2.2, 4.4.3.3, 4.4.3.4, 4.4.3.4.1 4.4.3.4.2, 4.4.3.4.3	Elementos de la EICV (ISO 14044, elementos opcionales)	Generalidades	<i>En función del objetivo y alcance</i>
			Elementos	
			Normalización	<i>Cálculo de la magnitud de los resultados en relación a la información de referencia</i>
			Agrupación	<i>Organización y posible clasificación de las categorías de impacto</i>
			Ponderación	<i>Conversión y posible suma de los resultados del indicador</i>
			Análisis de la calidad de los datos	<i>Mejor comprensión de la fiabilidad en la recopilación de los resultados</i>
	4.4.4, 4.4.4.1, 4.4.4.2	Elementos de la EICV (ISO 14044, análisis adicional de la calidad de los datos)	Análisis de la gravedad	<i>Identificar datos que contribuyen mayoritariamente al resultado del indicador</i>
			Análisis de la incertidumbre	<i>Determinar la inferencia de incertidumbres y suposiciones</i>
			Análisis de la sensibilidad	<i>Determinar la manera en que los cambios en los datos afectan los resultados</i>
	4.4.5	EICV para comparación y divulgación	Conjunto de indicadores completo	<i>Comparación entre indicadores de categoría; validez científica y técnica; importancia ambiental</i>
5.4.3	4.2.3.3, 4.2.3.3.1, 4.2.3.3.2	Limitaciones	Incertidumbre; la EICV no es completa acerca de todos los asuntos ambientales	<i>Debido a desarrollo limitado de modelos de caracterización, limitaciones de la fase de ICV, calidad inadecuada de datos, limitaciones de recopilación</i>

Tabla 2-3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (Elaboración propia con información de ISO, 2006)

#### 2.4.2.4. Interpretación de resultados

La interpretación de resultados es la fase final del ACV, se basa en las fases previas, retroalimentando el análisis en función del cumplimiento o no del objetivo y alcance planteados al inicio. Se identifica los asuntos significativos de las fases 2 y 3, se evalúa la integridad, sensibilidad y coherencia de datos, y finalmente se procede a realizar conclusiones, especificar las limitaciones encontradas durante el estudio y a plantear recomendaciones para mejorar el trabajo (International Organization for Standardization - ISO, 2006a). La tabla 2-4 muestra los elementos planteados por las normas ISO 14040 y 14044 de 2006.



Interpretación del Ciclo de Vida				
ISO 14040	ISO 14044	Título	Contenido	Descripción
5.5	4.5	Interpretación del Ciclo de Vida		
5.5	4.5.1, 4.5.1.1, 4.5.1.2	Generalidades	Consideración de hallazgos	<i>Se junta análisis de inventario y evaluación de impacto</i>
			Resultados coherentes con objetivo y alcance	<i>Conclusiones, limitaciones y recomendaciones</i>
			Enfoque relativo	<i>Efectos ambientales potenciales, no reales; no identifica umbrales ni riesgos</i>
			Revisión de objetivo y alcance	<i>Cumplimiento de objetivos</i>
			Evaluación	<i>Análisis de integridad, sensibilidad y coherencia</i>
			Iteración	<i>Revisión y actualización de alcance, naturaleza y calidad de los datos</i>
	4.5.2, 4.5.2.1, 4.5.2.2, 4.5.2.3	Identificación de los asuntos significativos	Estructuración de resultados	<i>Asuntos significativos de acuerdo a objetivo y alcance</i>
			Datos de inventario	<i>Energía, emisiones, vertidos, residuos</i>
			Categorías de impacto	<i>Uso de materia, cambio climático</i>
			Hallazgos de fases previas	<i>Ensamblaje y estructura</i>
			Elecciones metodológicas	<i>Reglas de asignación, límites e indicadores de categoría</i>
			Juicios de valor	
	4.5.3, 4.5.3.1, 4.5.3.2, 4.5.3.3, 4.5.3.4	Evaluación	Fortalecimiento de confianza y fiabilidad de resultados	<i>Visión clara y comprensible del resultado del estudio</i>
			Verificación del análisis de integridad	<i>Información y datos están disponibles y son completos</i>
			Verificación del análisis de sensibilidad	<i>Evaluar confiabilidad de los resultados y conclusiones finales; influencia de incertidumbre y métodos</i>
			Verificación del análisis de coherencia	<i>Determinar si las suposiciones, métodos y datos son coherentes con el objetivo y el alcance</i>
	4.5.4	Conclusiones, limitaciones y recomendaciones	Conclusiones	<i>Asuntos significativos; conclusiones preliminares, iteración si se requiere; conclusiones finales</i>
			Limitaciones	<i>Problemas encontrados; describir subjetividades</i>
			Recomendaciones	<i>Resultado lógico y razonable de las consecuencias de las conclusiones</i>

Tabla 2-4. Interpretación del Ciclo de Vida (Elaboración propia con información de ISO, 2006)



Teniendo como referencia las tablas 2-1, 2-2, 2-3 y 2-4, en los Capítulos 3 y 4 se procederá al Análisis de Ciclo de Vida para las 4 tecnologías termosolares propuestas. El Capítulo 3 se enfocará en el diseño del ACV, basándose en el título de las Normas ISO 14040 y 14044 “Definición del Objetivo y Alcance”, y en el Capítulo 4 se desarrollarán los análisis de inventario y evaluación de impacto de ciclo de vida para cada tecnología, y la interpretación general de los resultados.



## **Capítulo 3 - Definición de criterios para aplicación del ACV para sistemas termosolares con potencial en el Ecuador**

### **3.1. Introducción**

La definición de criterios, en la cual se establece el marco referencial, se precisa el objetivo del ACV y se determina metodologías, requisitos de datos y criterios de evaluación, se realizará en base al título “Definición del Objetivo y Alcance”, determinado por las normas ISO 14040:2006, “Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia” e ISO 14044:2006, “Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices”, tal como se describió en la sección 2.4.2.1 y en la tabla 2-1.

Así, las secciones de este capítulo serán:

- Objetivo (ISO 14040, 5.2.1.1).
- Alcance (ISO 14040, 5.2.1.2).
- Función, unidad funcional y flujos de referencia (ISO 14040, 5.2.2).
- Límites del sistema (ISO 14040, 5.2.3).
- Metodología de la EICV y tipos de impacto (ISO 14044, 4.2.3.4).
- Tipos y fuentes de datos (ISO 14044, 4.2.3.5).
- Requisitos de calidad de los datos (ISO 14040, 5.2.4).
- Comparaciones entre sistemas (ISO 14044, 4.2.3.7).

### **3.2. Objetivo**

El objetivo ha sido definido en la introducción y los antecedentes de la presente investigación, y se ha esquematizado en la tabla 3-1.





Objetivo	
Contenido	Desarrollo
Aplicación prevista	Aportar en el proyecto de investigación "Elaboración de un mapa de irradiación solar directa normal y análisis de aplicaciones industriales, viabilidad tecnoeconómica e impacto ambiental de sistemas termosolares híbridos para el Ecuador" mediante la realización de un análisis del impacto ambiental de las tecnologías solares de concentración (CSP) con potencial en el Ecuador y propuestas en el proyecto
Razones del estudio	- Convenio INER - Universidad de Cuenca para analizar la implementación de tecnología CSP en Ecuador - Tesis de graduación de la carrera de Ingeniería Ambiental
Público previsto	Empresas y entidades académicas relacionadas con la energía solar térmica, público en general
Divulgación pública	Documento público

Tabla 3-1. Objetivo (Elaboración propia)

### 3.3. Alcance

El esquema del alcance se observa en la tabla 3-2.

Alcance	
Contenido	Desarrollo
Producto o proceso a estudiar	Tecnologías CSP con potencial en Ecuador
Procesos unitarios generales	Producción de materiales necesarios para las plantas CSP
	Flujo de energía de cada sistema
	Flujo de masa de cada sistema
	Disposición final de desechos sólidos
Unidad funcional	Kilovatio hora (kw/h)
Límites del sistema	Información de materiales
	Información de procesos en las plantas
	Información acerca de vida útil de las plantas
Categorías de impacto	Impacto durante la producción de materiales necesarios para una planta
	Impacto causado por la operación de la planta
Requisitos de datos	Posibilidad de normalización en base a unidad funcional
	Plantas CSP con condiciones similares
Suposiciones	Existe la información de utilización de material y energía para cada tecnología CSP
Limitaciones	Escasez de información de materiales y procesos; no existe información acerca de vida útil
Informe requerido	Comparación de 4 plantas CSP

Tabla 3-2. Alcance (Elaboración propia)

Como puede observarse, los límites del sistema, las categorías de impacto y los procesos unitarios se corresponden entre sí, determinándose que los criterios

fundamentales del análisis serán la construcción, operación y cierre (desmontaje o abandono) de la planta, como se muestra en el gráfico 3-1.

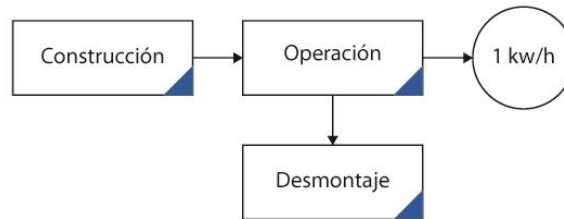


Gráfico 3-1. Esquema general de criterios de análisis y unidad funcional (Elaboración propia)

### 3.4. Función, unidad funcional y flujos de referencia

Las funciones son los procesos unitarios que se realizan durante la producción de energía de cada planta CSP. Cabe indicar que si bien la producción de materia prima necesaria para cada planta incluye a su vez múltiples procesos unitarios, estos procesos no se incluyen en el estudio de manera específica sino general, dado que el software SimaPro, a ser usado en el presente estudio y que será explicado al detalle en la sección 4.2, puede calcular el impacto general para cada material, en función de la cantidad del mismo utilizada para la producción de un kilovatio hora (unidad funcional). El esquema de esta sección se observa en la tabla 3-3.

Función, unidad funcional y flujos de referencia			
Contenido	Desarrollo	Criterios / Indicadores	Metodología
Función (Proceso Unitario)	Producción de materiales necesarios para las plantas CSP	Impacto producido durante la producción	Estándar ISO 14040 y 14044, herramienta: Software SimaPro
	Producción de energía	Energía neta	
	Utilización de líquido caloportador y otros fluidos	Líquido caloportador y otros fluidos	
	Disposición final de desechos sólidos	Impacto ambiental de los materiales	
Unidad funcional	Kilovatio hora (kw/h)		
Flujos de referencia	Flujo de energía de cada sistema	Entradas y salidas de energía	Esquema: Gráfico 3-2
	Flujo de masa de cada sistema	Entradas y salidas de material	Esquema: Gráfico 3-2

Tabla 3-3. Función, unidad funcional y flujos de referencia (Elaboración propia)

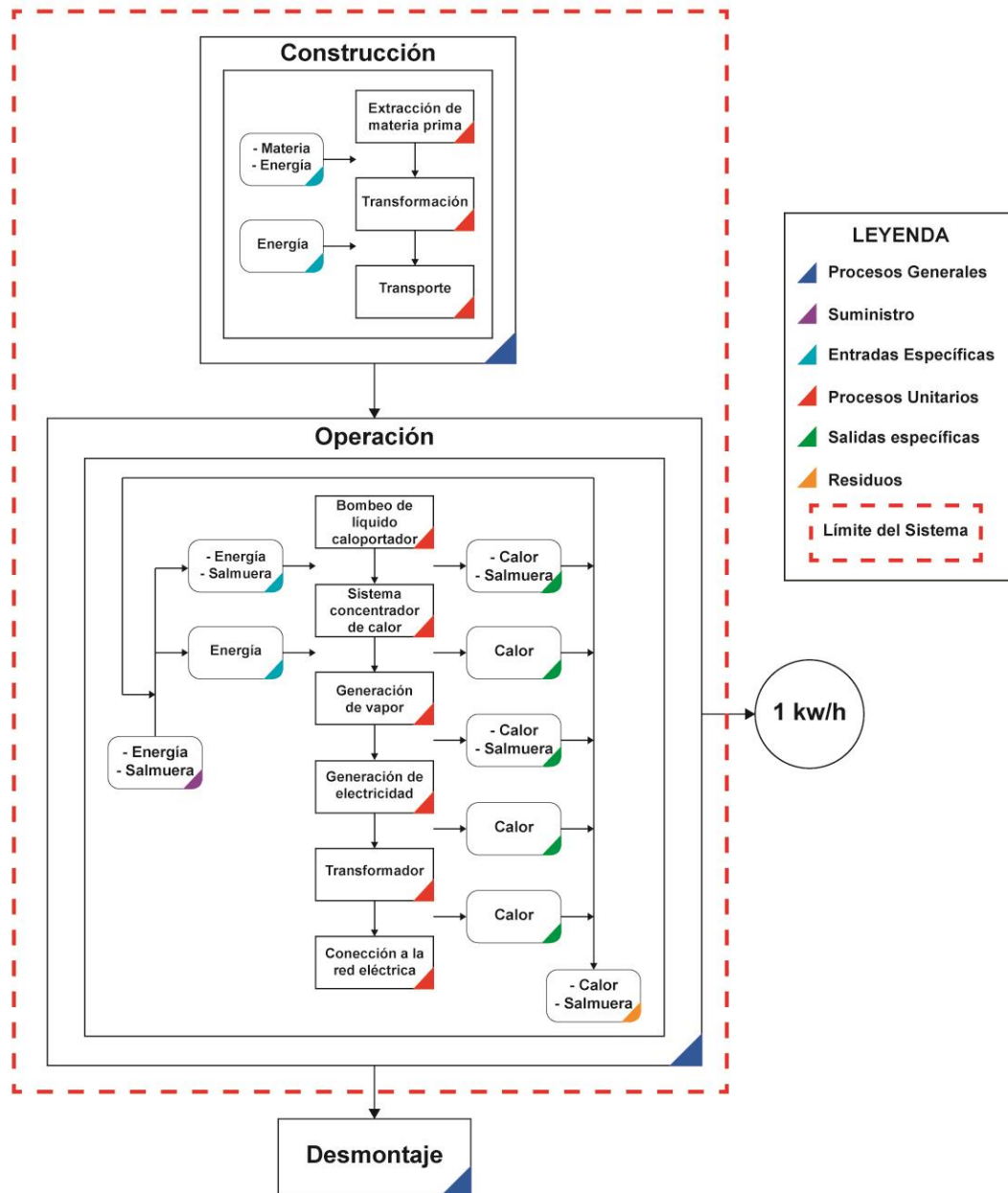


Gráfico 3-2. Esquema de flujos de referencia (Elaboración propia con información de A. Ramírez, comunicación personal, 17 de septiembre de 2015)

### 3.5. Límites del sistema

Se ha definido los límites del sistema, es decir, desde dónde y hasta dónde se puede analizar el ciclo de vida con la información que es factible obtener, manteniendo la rigurosidad en la comparación. Así, siguiendo el gráfico 3-2, se define que las fase de construcción se analizará tomando en cuenta todas las entradas de materia prima y energía, a través del software SimaPro, utilizando las bases de datos del programa y la información acerca del ciclo de vida de



cada planta, mientras que para la fase de operación se ha definido procesos unitarios específicos, con sus respectivas entradas y salidas. Finalmente, la fase de desmontaje ha quedado fuera de los límites del sistema luego de un proceso iterativo durante las fases de análisis posteriores en las cuales no se pudo obtener información acerca de subproductos, reciclaje de materiales y desechos en general.

El esquema general de los límites se muestra en la tabla 3-4.

Límites del sistema		
Contenido	Desarrollo	Metodología
Procesos unitarios	* Definidos en alcance (4.3)	
Elección de elementos de análisis	Impacto durante la construcción de la planta	Estándar ISO 14040 y 14044, herramienta: Software SimaPro
	Impacto durante la operación	
	<i>Se eliminó la disposición final en un proceso iterativo</i>	
Especificación de etapas y procesos	* Con base en flujos de referencia (3.4)	Esquema: Gráfico 3-2
Diagrama de flujo de procesos	* Con base en flujos de referencia (3.4)	Esquema: Gráfico 3-2
Criterios de corte	Información encontrada acerca de materiales y flujos de masa y energía durante la operación	

Tabla 3-4. Límites del sistema (Elaboración propia)

### 3.6. Metodología de la EICV y tipos de impacto

Se define los indicadores que se utilizarán para las categorías de impacto definidas en la sección 3.3, “Alcance”, así como el modelo de caracterización, que como ya se ha descrito, se realizará mediante el software SimaPro. El esquema de la metodología se describe en la tabla 3-5. Cabe mencionar que para la descripción de resultados, en el siguiente capítulo, los indicadores serán también llamados directamente categorías de impacto.



Metodología de la ECV y tipos de impacto					
Contenido	Descripción	Indicadores	Unidades	Descripción	Modelo
Categorías de impacto	Impacto durante la extracción y transformación de materiales y la construcción y operación de cada planta	Contribución al agotamiento abiótico (tomando en cuenta combustibles fósiles)	MJ	Energía consumida en la obtención, fabricación, distribución, uso y fin de vida de las materias primas	Software SimaPro
		Contribución al agotamiento abiótico	kg Sb eq	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza	
		Contribución a la acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera	
		Contribución a la eutrofización	kg PO <sub>4</sub> --- eq	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses, que provoca un alto consumo del oxígeno del agua	
		Contribución al calentamiento global (GWP 100 a: potencial de calentamiento global en 100 años)	kg CO <sub>2</sub> eq	Aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas como consecuencia principalmente de la quema exhaustiva de gases de efecto invernadero	
		Contribución al agotamiento de la capa de ozono (ODP: potencial de agotamiento de ozono)	kg CFC-11 eq	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica	
		Contribución a la oxidación fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono-O <sub>3</sub> es el más importante por su abundancia y toxicidad)	

Tabla 3-5. Metodología de la EICV (Elaboración propia con información de Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco, 2009)



### 3.7. Tipos y fuentes de datos

Para un análisis riguroso se debe propender a utilizar datos medidos, sin embargo es probable que algunos datos se deban estimar si no se encuentra la información. La tabla 3-6 muestra el esquema para los tipos y fuentes de datos.

Tipos y fuentes de datos	
Tipos de datos	Fuente
Datos medidos	Información acerca de materiales utilizados en la construcción de las plantas y flujos de materia y energía durante la operación
Datos estimados	Los datos que no existan acerca de los materiales y flujos se deberán estimar a través de bases de datos existentes

Tabla 3-6. Tipos y fuentes de datos (Elaboración propia)

### 3.8. Requisitos de calidad de los datos

Los requisitos son los criterios que deben cumplir los datos para que el análisis pueda dar como resultado información adecuada y rigurosa. En la tabla 3-7 se establece los requisitos de calidad de los datos.

Requisitos de calidad de los datos		
Contenido	Desarrollo	Criterios
Características de los datos necesarios para el estudio	Se analizará en lo posible todos los materiales necesarios para la construcción de una planta, así como todo el flujo de materia y energía durante la operación	
Tratamiento de datos faltantes	Documentación de cómo se ha procedido con datos faltantes	
Criterios básicos		
Tiempo	Antigüedad de datos y tiempo de recopilación	Datos de los últimos 5 años
Geografía	Área geográfica de recopilación	Áreas similares / cercanas
Precisión	Variabilidad de valores	Especificar error si es necesario
Integridad	Porcentaje del flujo que se ha medido	Mínimo flujo medido: 75%
Incertidumbre de la información	Datos, modelos y suposiciones	Especificar datos que se ha estimado o que no se ha tomado en cuenta por falta de información

Tabla 3-7. Requisitos de calidad de los datos (Elaboración propia)



### 3.9. Comparación entre sistemas

Finalmente, habiéndose establecido que esta investigación es un Análisis Comparativo del Ciclo de Vida para 4 diferentes tecnologías, se define criterios que deben cumplir las 4 plantas para un estudio riguroso, como se muestra en la tabla 3-8.

Comparación entre sistemas		
Contenido	Desarrollo	Criterios / Indicadores
Criterios similares	Unidad funcional	Producción de 1 kw/h
	Desempeño	Material necesario y rendimiento energético con respecto a la unidad funcional
	Límites	Etapas de operación (específico) y etapas de construcción y abandono (general)
	Calidad de datos	Documentación del cumplimiento de requisitos de los datos
Documentación de diferencias	Se informará cualquier diferencia entre los sistemas en cuanto a los parámetros	

Tabla 3-8. Comparación entre sistemas (Elaboración propia)

Luego de esta definición del objetivo y alcance del ACV, en el siguiente capítulo se procederá con las siguientes fases propuestas por los estándares ISO 14040 e ISO 14044, esto es: el análisis del inventario de ciclo de vida, la evaluación del impacto del ciclo de vida y la interpretación de resultados.



## Capítulo 4 - Análisis y Resultados

### 4.1. Introducción

En este capítulo se procederá a la evaluación o análisis de ciclo de vida propiamente dicho, con los criterios y límites definidos en el Capítulo 3. Para cada tecnología de concentración termosolar, se ha elegido una planta real para realizar el ACV, teniendo en cuenta la cantidad de información existente sobre cada una de las plantas escogidas, y que en lo posible tengan características similares en cuanto a tamaño y posición geográfica. Así, se ha seleccionado las centrales a evaluar conforme se muestra en la tabla 4-1.

Tecnología	Nombre de la Planta	Empresa/ Grupo Desarrollador	Ubicación	Estado	Potencia (MW)	Generación anual (GWh)	Vida útil (años)
PTC	Andasol I	Cobra Energía	España, Granada	En operación desde 2008	50	165	25
LFC	Puerto Errado 2 (PE2)	Novatec Solar	España, Murcia	En operación desde 2012	30	40	25
SPT	Gemasolar	Torresol Energy	España, Sevilla	En operación desde 2011	19,9	110	25
PDC	Maricopa	Tessera Solar	Estados Unidos, Arizona	Cerrado en 2011	1,5	3,6	25

*Tabla 4-1. Plantas Solares de las que se realizará el ACV (Elaboración propia con información de Kuenlin, Augsburg, Gerber, & Maréchal, 2013; NREL, 2013; Viebahn, Kronshage, Trieb, & Lechon, 2008)*

Cabe resaltar que, como se indicó en el Capítulo 1, tabla 1-2, según la NREL (2013), para el año 2013 existían únicamente 2 plantas con tecnología PDC: “Tooele Army Depot”, en Utah, Estados Unidos, y “Maricopa”, en Arizona, en el mismo país. La primera estaba en construcción y la segunda ya había dejado de operar, sin embargo esta última es la única central de la cual se ha encontrado información para el ACV.

Con estos antecedentes, se procederá al análisis del inventario de ciclo de vida (ICV) y a la evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV) para cada tecnología, y finalmente a una interpretación general comparativa de los resultados obtenidos, usando como herramienta el Software SimaPro 8.





## **4.2. Funcionamiento del Software SimaPro 8**

### **4.2.1. Información del Software**

El software SimaPro, en todas sus versiones, ha sido desarrollado por la empresa holandesa PRé Consultants, certificada por la organización "Climate Neutral Group" en 2013 (Climate Neutral Group, 2013). La última versión, y la que se utilizará en esta investigación, es SimaPro 8. Las características de relevancia para el presente estudio se detallan a continuación (Pre Consultants, 2014):

- Incluye varias bases de datos de procesos y materiales, la que se utilizará es "Ecoinvent 3".
- Permite el "diseño" de plantas y de procesos unitarios de las mismas, con lo cual se puede tener información general para la comparación e información desagregada para cada central termosolar.
- Los resultados se pueden analizar de forma comparativa entre las 4 plantas, dando como resultado el impacto ambiental global de cada una según ciertos criterios.
- El programa puede caracterizar cada planta según cada criterio de análisis, lo que a su vez permite saber qué procesos y materiales son los de mayor incidencia en el impacto ambiental.
- Los criterios o categorías de análisis del impacto ambiental que tiene el programa y que se tomarán en cuenta en este estudio se muestran en la tabla 4-2.



Categoría	Unidad de medida
Contribución al agotamiento abiótico (tomando en cuenta combustibles fósiles)	MJ
Contribución al agotamiento abiótico	kg Sb eq
Contribución a la acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq
Contribución a la eutrofización	kg PO <sub>4</sub> --- eq
Contribución al calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq
Contribución al agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Contribución a la oxidación fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
El programa también permite analizar las categorías: Toxicidad a la salud humana, Ecotoxicidad al agua dulce, Ecotoxicidad acuática marina y Ecotoxicidad terrestre, sin embargo, por tener mayores niveles de incertidumbre, no serán tomadas en cuenta en el análisis (Ramírez, 2015)	

Tabla 4-2. Categorías de Impacto Ambiental (Elaboración propia en base a información de SimaPro 8)

#### 4.2.2. Diseño de plantas e ingreso de datos

Se diseña cada parte de la planta solar por separado. Para el ejemplo, mostrado en el gráfico 4-1, se está diseñando el campo solar de la planta Andasol I, con tecnología PTC. En primer lugar se especifica el nombre del proceso y la unidad, en este caso 1 unidad, seleccionando en la pestaña cantidad “amount” por ser una medida general de cantidades. Luego se procede al ingreso de materiales en la sección “entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)”. Cabe indicar que en este estudio, habiendo definido los límites, únicamente se tomará en cuenta las entradas de materiales, y únicamente en el almacenamiento, las emisiones al aire, que también se puede observar en el gráfico 4-1.



**Nuevo Material proceso**

Documentación | Entrada/salida | Parámetros | Descripción del sistema

---

**Productos**

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos

Nombre	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación %T
PTC 50MW (Andasol I) Campo Solar	1	p	Amount	100 %
(Insertar línea aquí)				

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados

Nombre	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)				

---

**Entradas**

Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)

Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)					

Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)

Nombre	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
	0		Indefinido	
(Insertar línea aquí)				

Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)

Nombre	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)				

---

**Salidas**

Emissiones al aire

Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)					

Emissiones al agua

Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)					

Gráfico 4-1. Captura de pantalla de diseño de plantas y procesos (Elaboración propia en SimaPro 8)

Luego, al ingresar en la línea mencionada, aparece un cuadro donde se debe buscar el material. Siguiendo el ejemplo, en el gráfico 4-2 se muestra la selección de acero reforzado para el campo solar de “Andasol I”, el equivalente en la base de datos Ecoinvent 3 es “reinforcing steel, RER (fuente según país/continente)”, encontrado dentro de las sucesivas pestañas (a la izquierda de la ventana): “Material”, “Metals”, “Ferro”, “Transformation”.

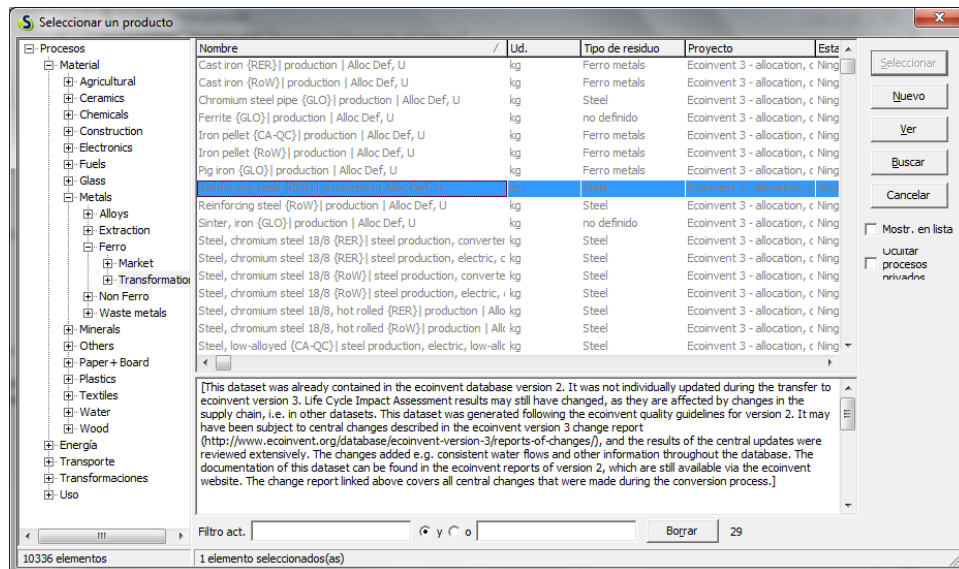


Gráfico 4-2. Captura de pantalla de ingreso de materiales por proceso (Elaboración propia en SimaPro 8)

### 4.2.3. Consolidación de datos por planta

Teniendo todos los campos para una planta, se procede a crear un proceso general de la misma, ingresando en lugar de los materiales cada uno de los campos, y en las unidades “1”. Asimismo, en este punto se define la unidad funcional, en este caso, 1 kWh. El gráfico 4-3 muestra el proceso para la consolidación de la planta Andasol I.

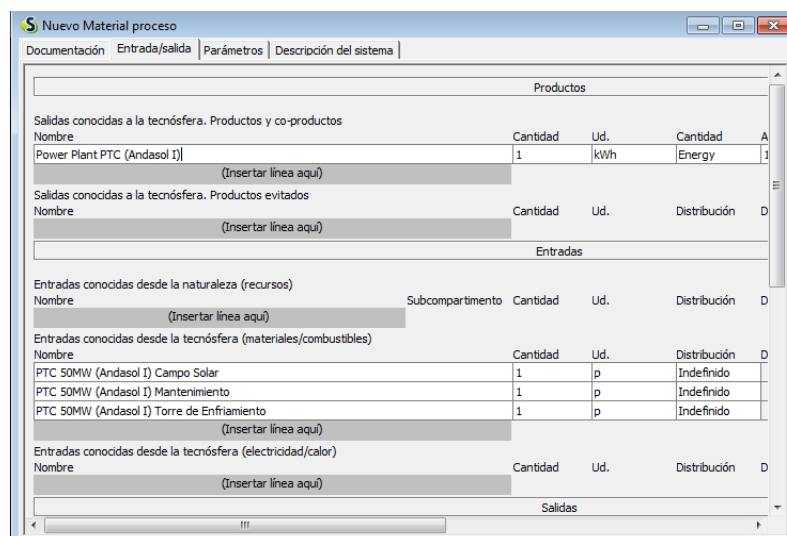


Gráfico 4-3. Captura de pantalla de consolidación de una planta (Elaboración propia en SimaPro 8)



#### 4.2.4. Análisis y caracterización por planta

El programa permite la caracterización de cada una de las plantas, según las categorías de impacto descritas en la sección 4.2.1. En el ejemplo (gráfico 4-4), se muestran los datos obtenidos de la caracterización de impacto de la planta "Puerto Errado 2", con tecnología LFC, en la categoría "Agotamiento de la Capa de Ozono". La tabla permite saber cuáles son los factores de mayor incidencia para la categoría definida; en este caso, se comprueba que los factores "transporte", y los relacionados con combustibles crudos son los de mayor aportación.

Para todas las caracterizaciones del presente estudio, se ha definido un criterio de corte de 1%, lo que quiere decir que todos los procesos que representen menos del 1% del total serán agrupados con el fin de sintetizar la información. Este grupo es lo que en las tablas de caracterización se describe como "procesos remanentes", que no serán motivo de análisis por no ser significativos.

SimaPro 8.0.4.30		Contribución de proceso	
Proyecto		Electricity Ecuador	
Calculation:		Analizar	
Results:		Contribución proceso	
Product:		1 kWh electricidad LFC (of project Electric	
Método:		CML-IA baseline V3.02 / EU25	
Indicador:		Caracterización	
Categoría:		Ozone layer depletion (ODP)	
Cortar:		1%	
Excluir procesos de infraestructura:		Nº	
Excluir emisiones a largo plazo:		Nº	
Sorted on item:		Proceso	
Sort order:		Ascendente	

Fecha:	
14/10/2015	
Periodo:	
10:41	

Nº	Proceso	Proyecto	Unidad	Total	electricidad LFC	LFC PE2
	El total de todos los procesos		kg CFC-11 eq	1,93201E-09	0	1,93201E-09
	Procesos remanentes		kg CFC-11 eq	7,64019E-11	0	7,64019E-11
1	Crude oil, at production onshore/RAF U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	2,05311E-10	0	2,05311E-10
2	Crude oil, at production onshore/RME U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	3,02415E-10	0	3,02415E-10
3	Crude oil, at production onshore/RU U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	2,00057E-10	0	2,00057E-10
4	Crude oil, at production/NG U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	9,64905E-11	0	9,64905E-11
5	Dichloromethane, at plant/RER U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	4,45847E-11	0	4,45847E-11
6	Tetrachloroethylene, at plant/WEU U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	9,98157E-11	0	9,98157E-11
7	Transport, natural gas, offshore pipeline, long distance/NO U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	2,78872E-11	0	2,78872E-11
8	Transport, natural gas, onshore pipeline, long distance/DZ U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	7,1562E-11	0	7,1562E-11
9	Transport, natural gas, onshore pipeline, long distance/NO U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	3,65439E-11	0	3,65439E-11
10	Transport, natural gas, pipeline, long distance/NL U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	4,66898E-11	0	4,66898E-11
11	Transport, natural gas, pipeline, long distance/RER U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	1,19259E-10	0	1,19259E-10
12	Transport, natural gas, pipeline, long distance/RU U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	5,18821E-10	0	5,18821E-10
13	Uranium, enriched 3.9%, at USEC enrichment plant/US U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	2,26072E-11	0	2,26072E-11
14	Uranium, enriched 4.0%, at USEC enrichment plant/US U	Ecoinvent unit processes	kg CFC-11 eq	6,35633E-11	0	6,35633E-11

Gráfico 4-4. Caracterización de la planta "Puerto Errado 2" en la categoría "Agotamiento de la Capa de Ozono" (Obtenido mediante SimaPro 8)

En la sección 4.3.2 se describirán los resultados obtenidos para cada planta en cada categoría, a través de gráficos correspondientes a las tablas de caracterización.

El programa también permite visualizar qué procesos unitarios son los que contribuyen mayormente en el impacto ambiental, igualmente por categoría. El gráfico 4-5 muestra el esquema para la categoría “Contribución al Calentamiento Global” de la planta “Puerto Errado”, con tecnología LFC. Una barra blanca al lado de cada proceso permite observar el grado de incidencia, según el tamaño de la barra superpuesta de color rojo.

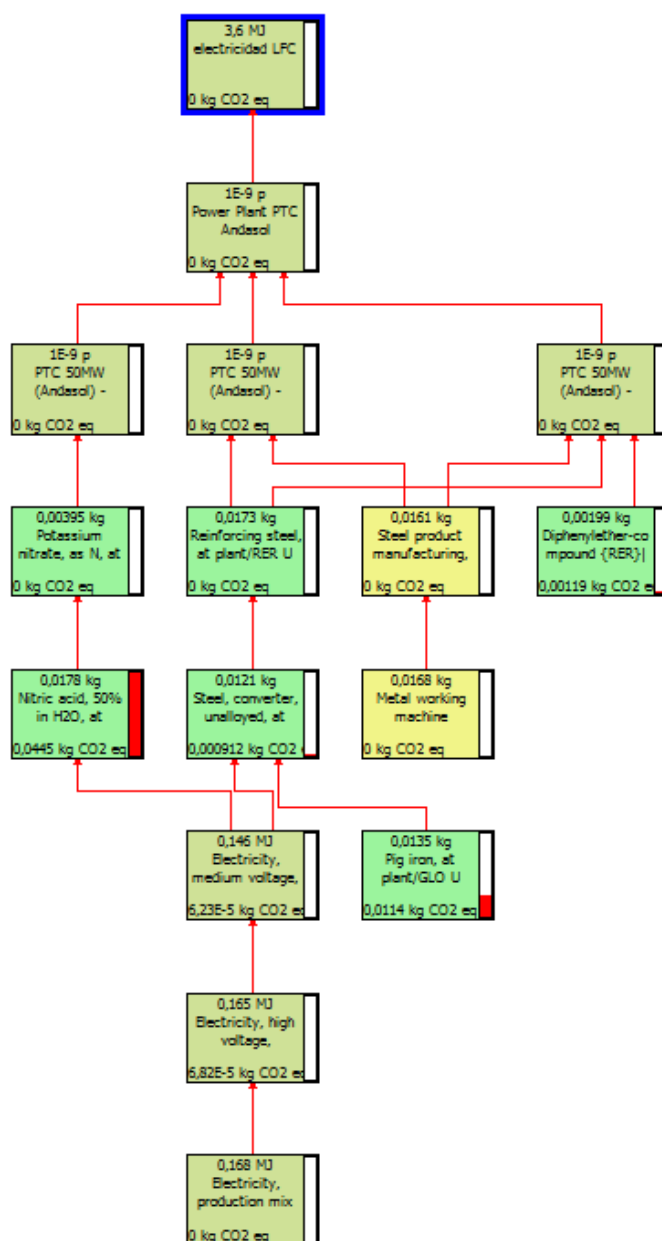


Gráfico 4-5. Esquema para la categoría "Contribución al Calentamiento Global" de la planta "Puerto Errado 2" (Obtenido mediante SimaPro 8)



#### 4.2.5. Comparación de plantas

Finalmente, el programa SimaPro 8 permite la comparación del impacto ambiental global de las 4 plantas CSP. Los resultados se analizarán en la sección 4.7.

#### 4.3. ACV para la tecnología de captadores cilindro-parabólicos (PTC) - caso de estudio: planta “Andasol I”

##### 4.3.1. Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El inventario para la planta “Andasol I” se observa en la tabla 4-3. Los procesos identificados, y que se detallan en la primera columna, son: Campo Solar, Receptor, Almacenamiento y Salmuera, Torre de Enfriamiento, Transporte, Mantenimiento, Bloque Potencia y Equipamiento de Potencia. En la segunda columna se listan los principales elementos y actividades reconocidos en cada proceso. A su vez, la tercera y cuarta columnas describen el material empleado en la fabricación de los elementos o el desarrollo de la actividad, y su equivalencia en la base de datos Ecoinvent 3, para su ingreso a SimaPro 8, respectivamente.

Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Campo Solar	Espejos	Vidrio plano revestido	Flat glass coated	RER	5,81E+06	kg
	Estructura de acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	1,58E+07	kg
	Fabricación de la estructura	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	1,58E+07	kg
	Fundición del hormigón	Hormigón, fabricación	Concrete, sole plate and foundation	CH	1,46E+03	m3
	Excavación	Sistema hidráulico de excavación	Excavation, hydraulic digger	RER	1,46E+03	m3



Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Receptor	Receptor de acero	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	3,81E+05	kg
	Fabricación del receptor de acero	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	3,81E+05	kg
	Vidrio borosilicato	Vidrio borosilicato	Glass tube, borosilicate	DE	3,04E+05	kg
	Revestimiento anti-reflejo	Revestimiento anti-reflejo	Anti-reflex coating, solar glass	DK	3,53E+03	m2
	Tuberías frías	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	2,59E+05	kg
	Tuberías frías, fabricación	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	2,59E+05	kg
	Tuberías calientes	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	2,84E+05	kg
	Fabricación de tuberías calientes	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	2,84E+05	kg
	Fundición del hormigón	Hormigón, fabricación	Concrete, sole plate and foundation	CH	235	m3
	Tuberías de aluminio	Aluminio	Aluminium, production mix	RER	5,77E+04	kg
	Tuberías de aluminio, fabricación	Aluminio, fabricación	Aluminium product manufact.	RER	5,77E+04	kg
	Aceite sintético	Éter diphenil	Diphenylether-compounds	RER	1,99E+06	kg
Almacenamiento y Salmuera	Salmuera	KNO3 (60%NaNO3 40%KNO3)	Potassium nitrate, as N	RER	3,95E+06	kg
	Propano	Propano	Propane/butane	RER	4,64E+03	kg
	NO2, emisiones	NO2, emisiones	Nitrogen oxides, air	0	7,65E+04	kg
Torre de Enfriamiento	Hormigón	Hormigón	Concrete, normal	CH	8,43E+01	kg
	Acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	2,98E+04	kg
	Acero, fabricación	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	2,98E+04	kg





Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Transporte	Transporte ferroviario	Transporte ferroviario	Transport, freight, rail	RER	2,66E+07	tkm
	Transporte por carretera	Transporte por carretera	Transport, lorry > 16t, fleet average	RER	7,09E+06	tkm
	Transporte oceánico	Transporte oceánico	Transport, transoceanic freight ship	OCE	6,3E+07	tkm
	Red eléctrica	Red de voltaje medio	Transmission network, medium voltage	CH	1	km
Mantenimiento	Agua para limpieza	Agua para limpieza	Water, deionised	CH	3,19E+08	kg
	Transporte de agua	Transporte de agua	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average	RER	2,87E+07	tkm
	Agua para enfriamiento	Agua para enfriamiento	Water, decarbonised	RER	1,9E+10	kg
Bloque Potencia	Acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	5,63E+05	kg
	Cobertura de cerámica	Cerámica	Ceramic Tiles	CH	3,16E+04	kg
	Acero cromado	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	4,41E+04	kg
	Cobre	Cobre	Copper	RER	3,75E+03	kg
	Aluminio	Aluminio	Aluminium	RER	9,5E+02	kg
Equipamiento de Potencia	Acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	5,7E+04	kg
	Aleación de magnesio AZ91	Aleación de magnesio AZ91	Magnesium, alloy, AZ91	RER	1,5E+04	kg
	Tubos PVC A	Tubos PVC A	PVC, pipe e	RER	1,5E+04	kg

Tabla 4-3. Inventario de Ciclo de Vida de la planta PTC "Andasol I" (Elaboración propia con información de Kuenlin et al., 2013; Viebahn et al., 2008)

### 4.3.2. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

#### 4.3.2.1. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico por uso de Combustibles Fósiles

Como muestra el gráfico 4-6, los factores que más contribuyen al agotamiento abiótico por combustibles, son el benceno (10%) y los combustibles fósiles sin procesar como el carbón y el petróleo, representando algunos de ellos entre 4% y 6% del total cada uno.

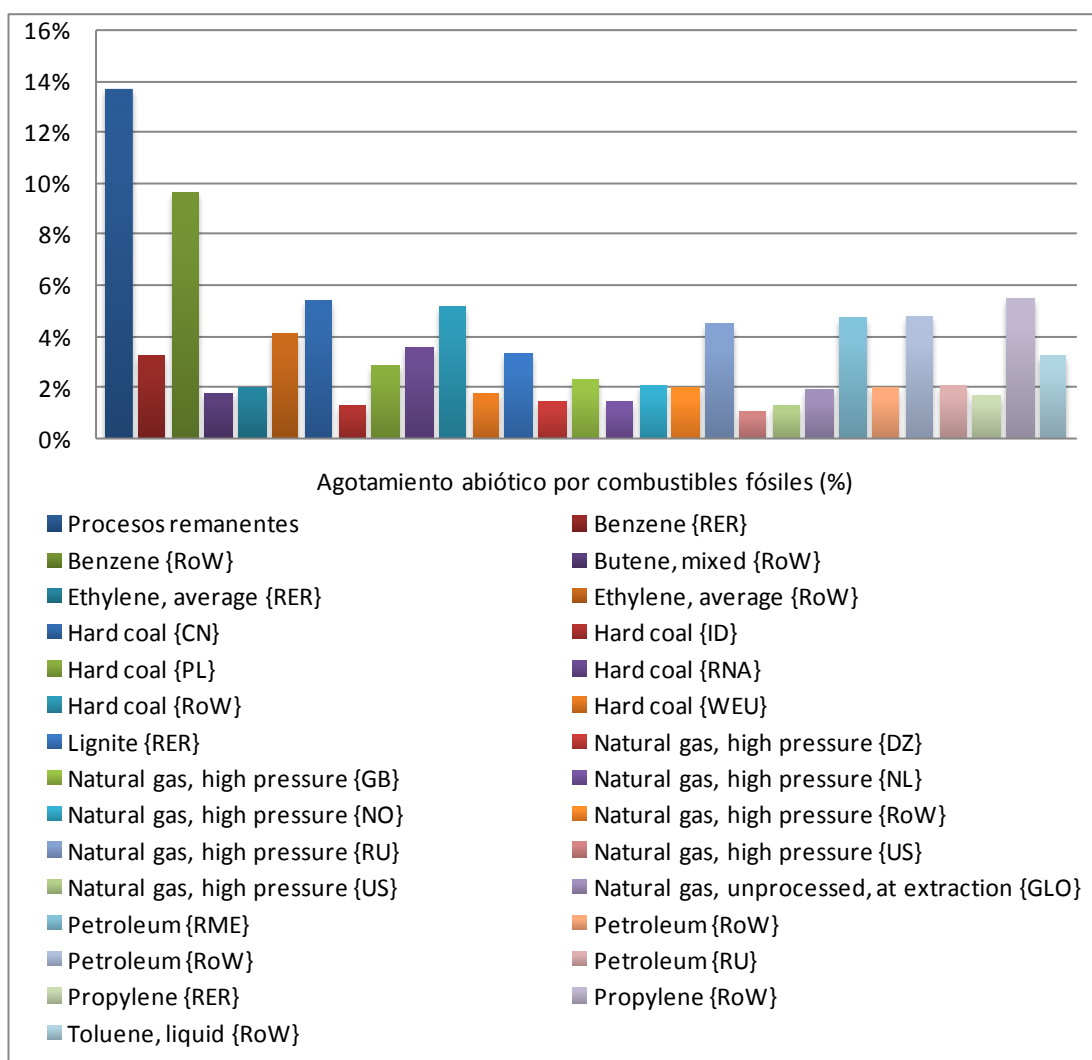


Gráfico 4-6. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - "Andasol I" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.3.2.2. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico

Los datos obtenidos, mostrados en el gráfico 4-7, concluyen que los factores que más inciden al agotamiento abiótico cuando no se toma en cuenta los combustibles, son el concentrado de zinc, el oro, el cobre concentrado y el plomo, con aproximadamente 17%, 16%, 10% y 10%, respectivamente. Todos estos son metales pesados bioacumulativos, presentes principalmente en los materiales de construcción.

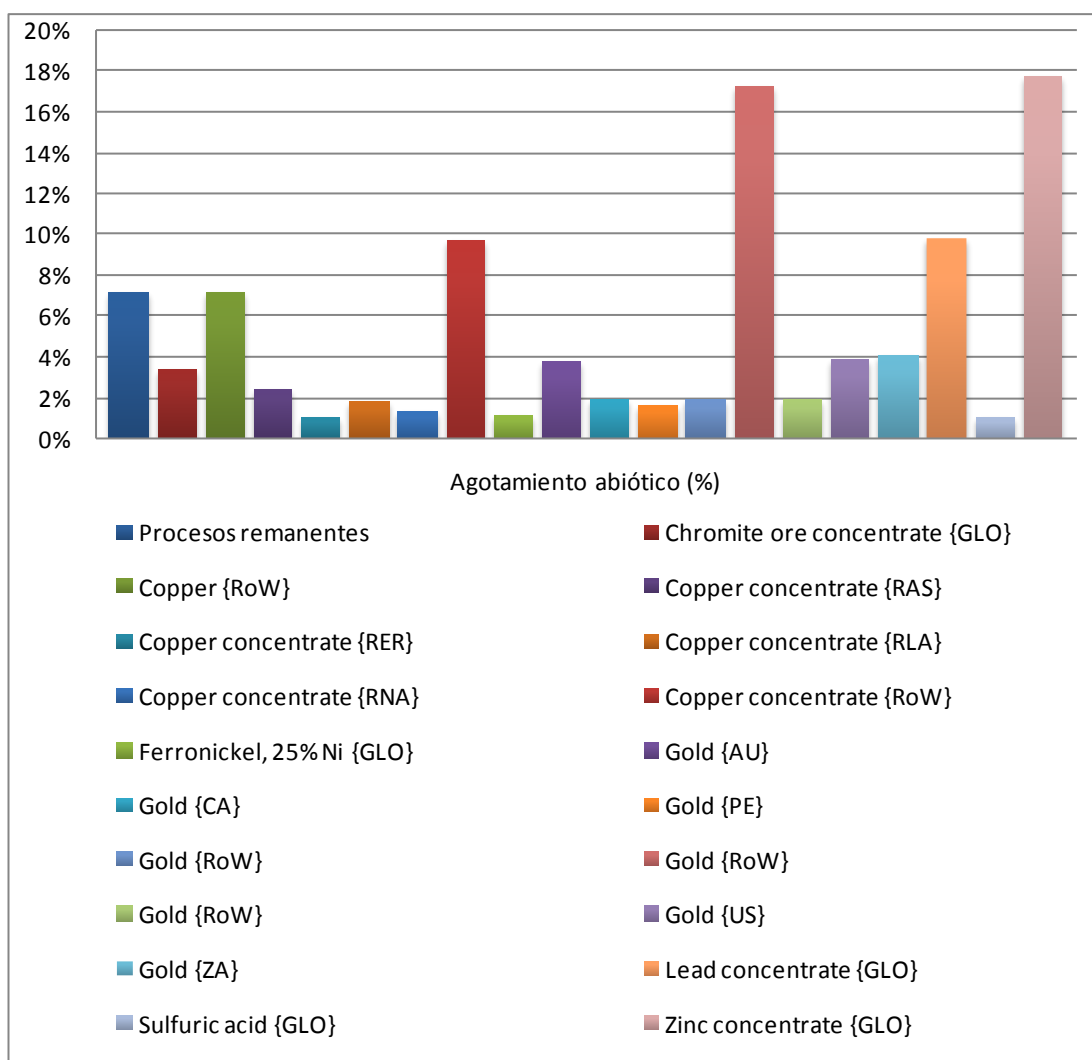


Gráfico 4-7. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico - "Andasol I"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.3.2.3. Caracterización de la Contribución a la Acidificación

Como muestra el gráfico 4-8, los factores de mayor incidencia en la acidificación son el empleo de éter difenílico, con más de 30% del total, y en menor medida el ácido nítrico, con poco más de 10%; estos materiales provienen principalmente de las salmueras utilizadas como líquido caloportador. El vidrio plano, el transporte oceánico y el proceso de almacenamiento y salmuera también son significativos, con 4% a 5% cada uno.

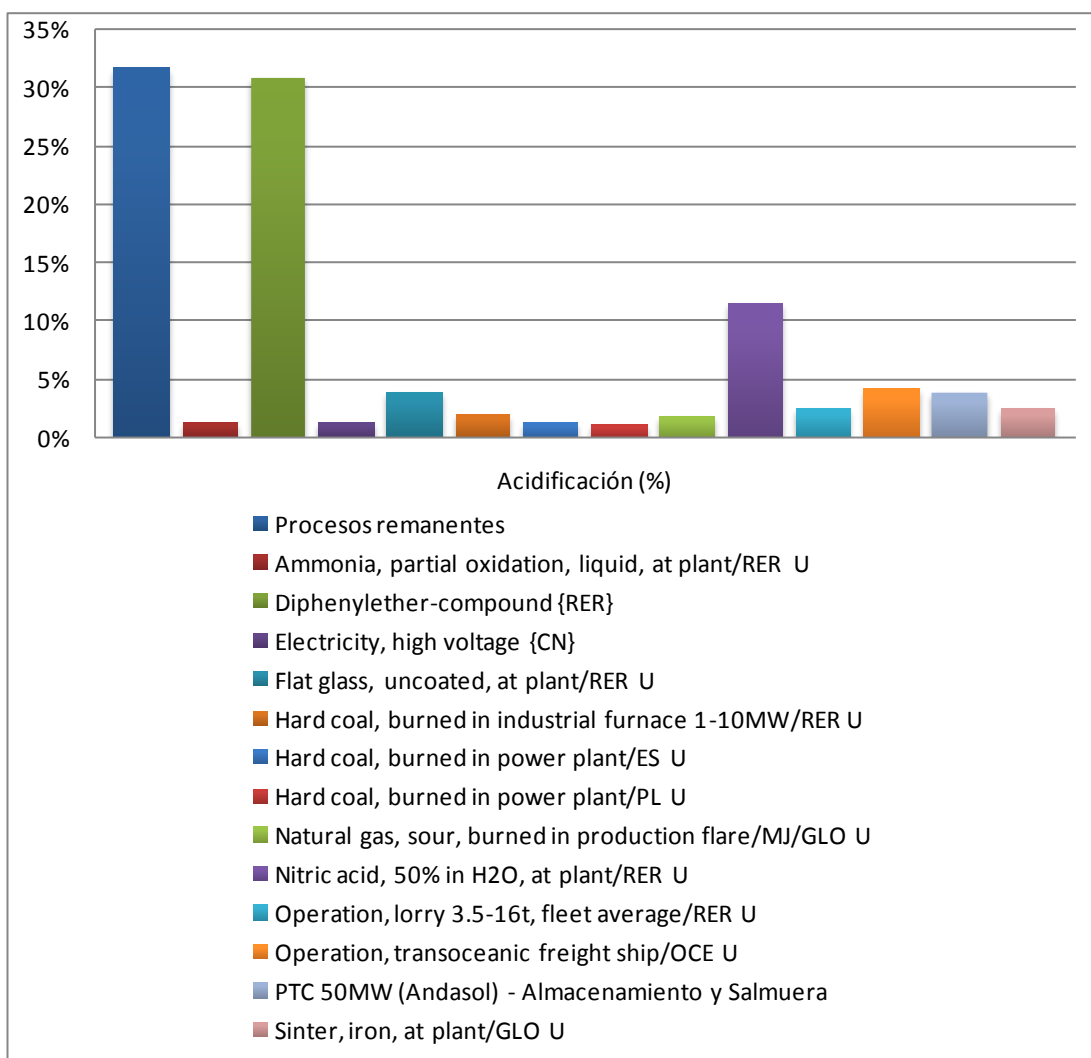


Gráfico 4-8. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - "Andasol I" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.3.2.4. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización

Varios factores y procesos utilizados en las planta PTC contribuyen a la eutrofización (gráfico 4-9), siendo los que más el ácido nítrico (18%), la disposición eventual de carbones naturales (lignito, 17% y carbón, 10%), y el uso del éter difenílico (13%). Al igual que con la acidificación, estos procesos responden al uso de salmueras y también de combustibles fósiles usados en el transporte y la construcción.

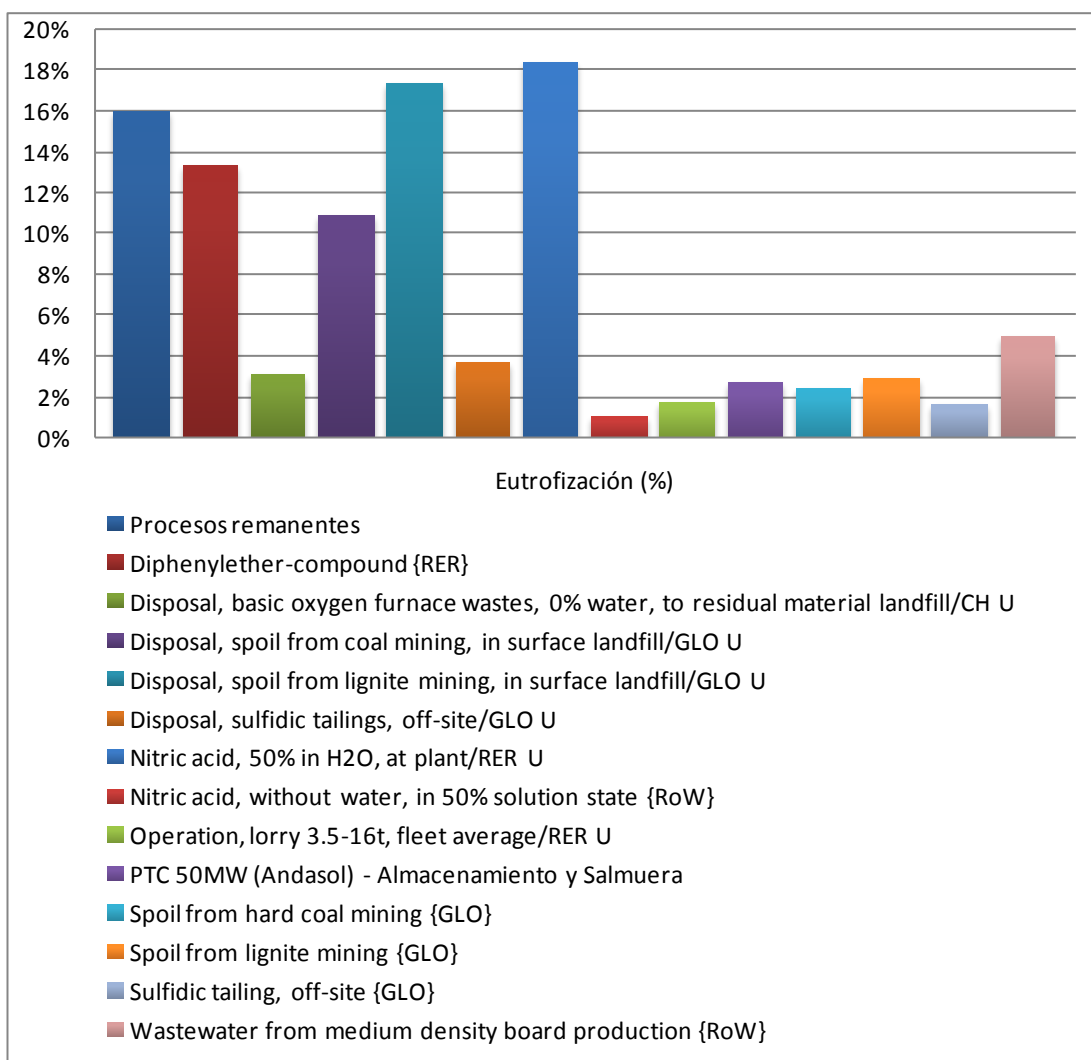


Gráfico 4-9. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Andasol I" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.3.2.5. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global

El gráfico 4-10 muestra los factores que más contribuyen al calentamiento global, siendo el que más el ácido nítrico (25%), que da lugar al óxido nítrico, gas de efecto invernadero (GEI). Otros factores que aportan de manera significativa son el arrabio, que es un producto intermedio del proceso de fundición del hierro, y que constituye un tipo de carbón vegetal (6%), y el gas natural empleado (5%).

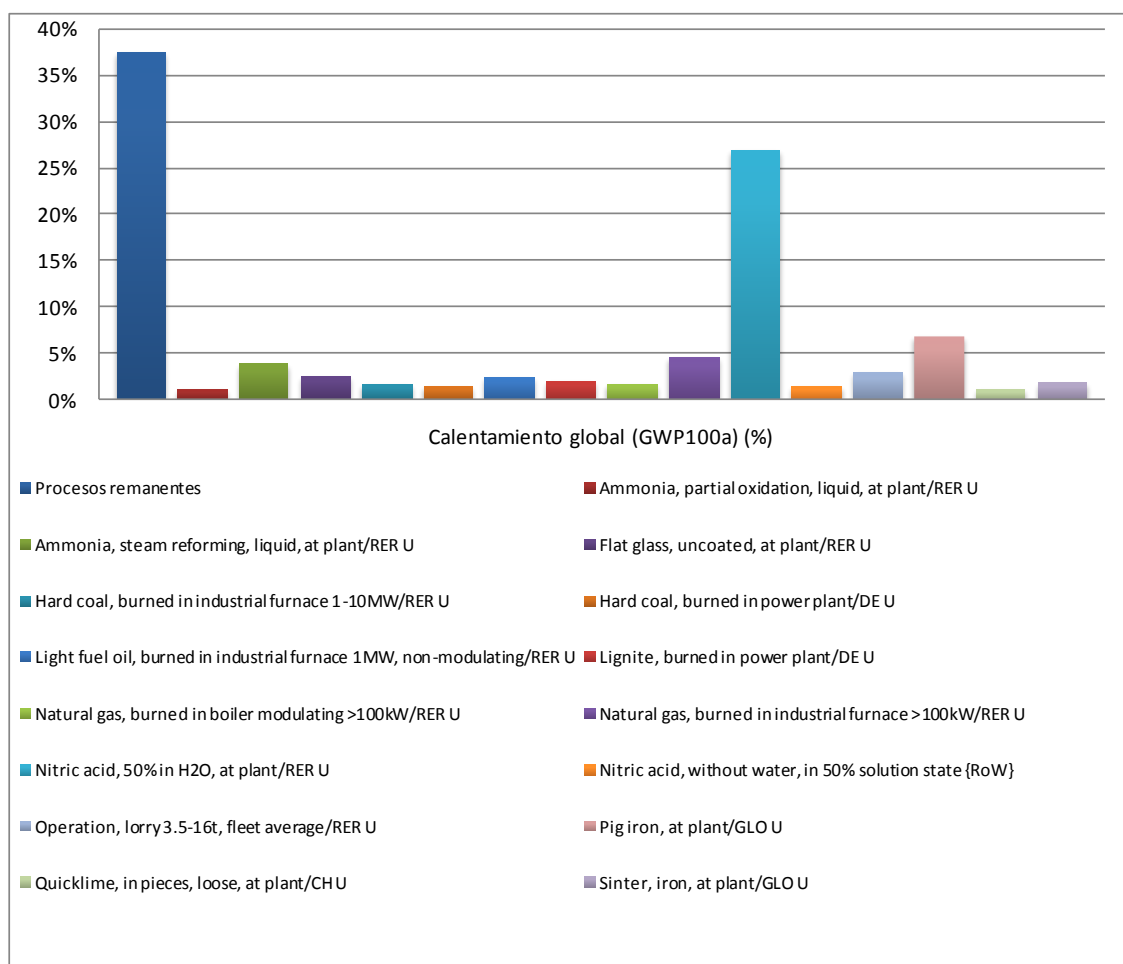


Gráfico 4-10. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Andasol I"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.3.2.6. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono

Como muestra el gráfico 4-11, varios los factores de la planta analizada contribuyen al agotamiento de la capa de ozono, como el transporte de gas natural, que representa aproximadamente el 17% del total, y la producción de gasolina para diferentes procesos, que representan en conjunto más del 23% del total.

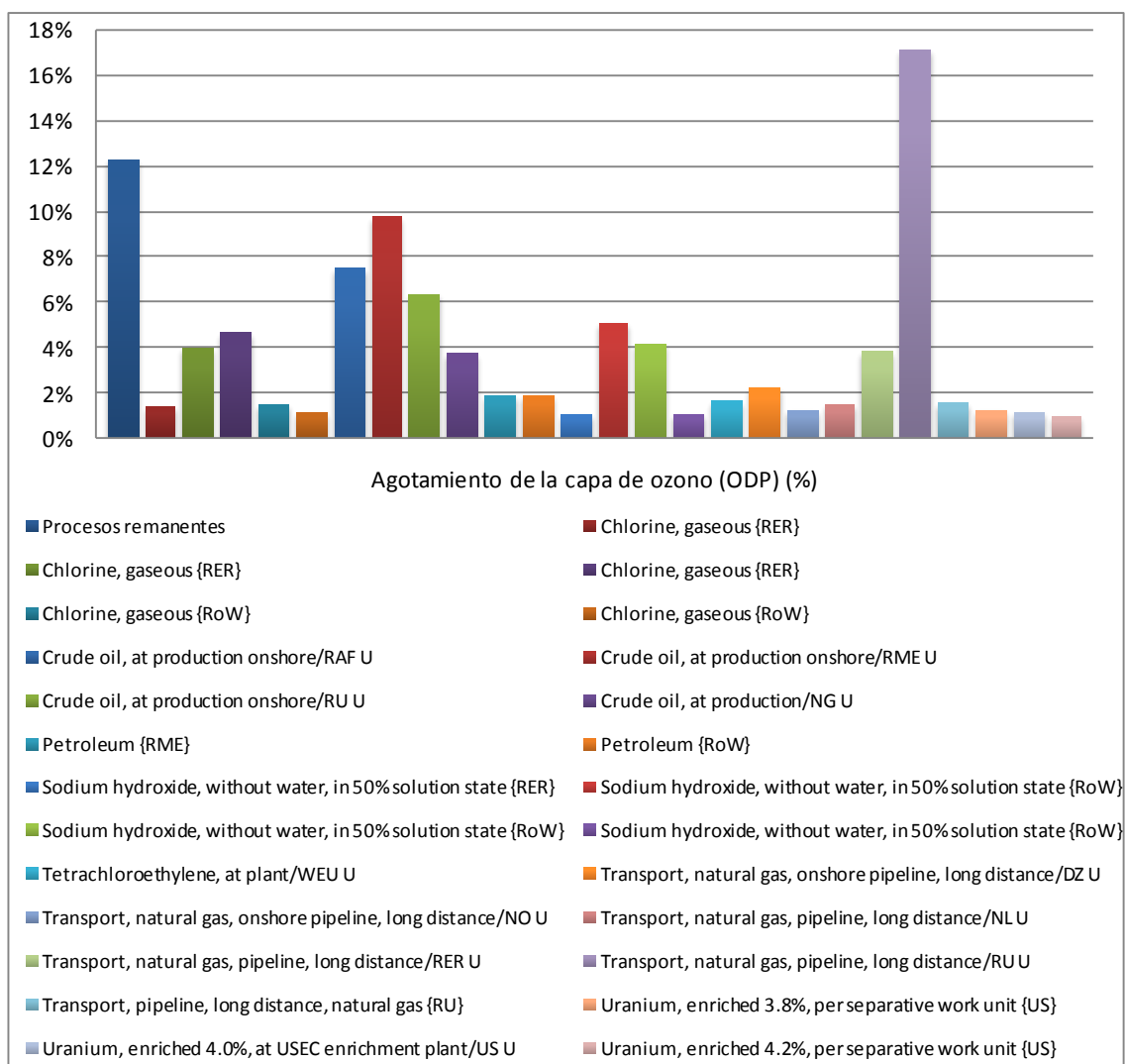


Gráfico 4-11. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - "Andasol I" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.3.2.7. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica

Finalmente, acerca de la contribución a la oxidación fotoquímica, representada en el gráfico 4-12, los procesos de mayor aportación son el uso de éter difenílico (15%) y la síntesis de hierro para la construcción, con el 21% aproximadamente.

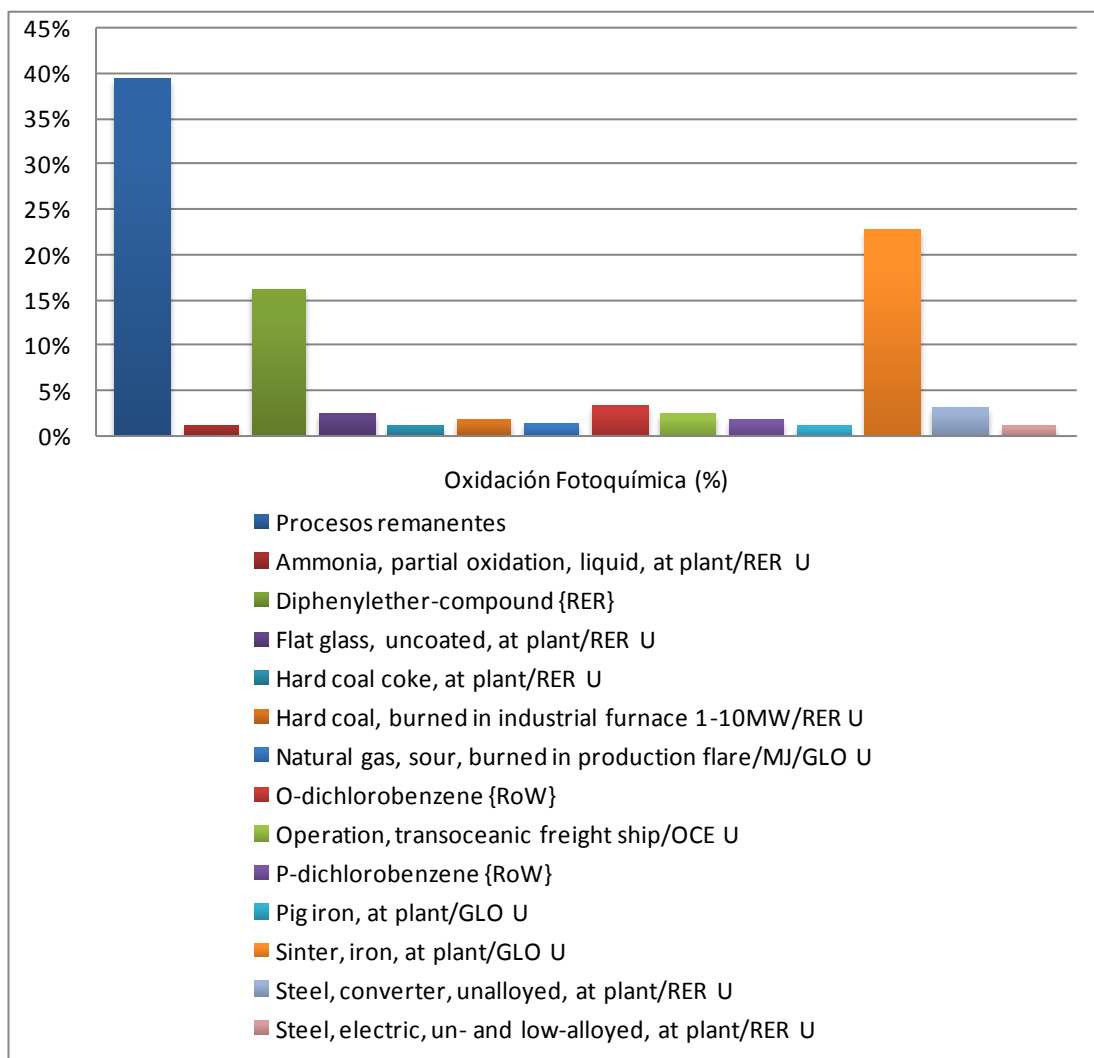


Gráfico 4-12. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - "Andasol I"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)



#### 4.4. ACV para la tecnología de captadores lineares Fresnel (LFC) - caso de estudio: planta “Puerto Errado 2”

##### 4.4.1. Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El inventario para la planta “Puerto Errado 2” se observa en la tabla 4-4. Los procesos identificados son: Campo Solar, Receptor, Producción de Vapor, Transporte y Mantenimiento.

Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Campo Solar	Espejos	Vidrio plano revestido	Flat glass coated	RER	2,27E+06	kg
	Estructura de acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	6,68E+06	kg
	Fabricación de la estructura	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	6,68E+06	kg
Receptor	Receptor de acero	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	5,99E+03	kg
	Fabricación del receptor de acero	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	5,99E+03	kg
	Tuberías frías	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	5,88E+04	kg
	Tuberías frías, fabricación	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	5,88E+04	kg
	Tuberías calientes	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	1,65E+05	kg
	Fabricación de tuberías calientes	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	1,65E+05	kg
	Vidrio borosilicato	Vidrio borosilicato	Glass tube, borosilicate	DE	1,84E+05	kg
	Revestimiento anti-reflejo	Revestimiento anti-reflejo	Anti-reflex coating, solar glass	DK	1E+04	m2
	Lana de fibra de vidrio	Láminas de lana de fibra de vidrio	Glass wool mat	CH	3,18E+04	kg
	Fundición del hormigón	Hormigón, fabricación	Concrete, sole plate and foundation	CH	139	m3
	Tuberías de aluminio	Aluminio	Aluminium, production mix	RER	1,81E+04	kg
	Tuberías de aluminio, fabricación	Aluminio, fabricación	Aluminium product manufact.	RER	1,81E+04	kg



Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Producción de Vapor	Agua destilada	Agua destilada	Water, ultrapure	GLO	4,77E+05	kg
	Almacenamiento de vapor	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	4,58E+04	kg
	Almacenamiento de vapor, fabricación	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	4,58E+04	kg
	Separador de vapor	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	4,58E+04	kg
	Separador de vapor, fabricación	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	4,58E+04	kg
	Desaireador	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	4,58E+04	kg
	Desaireador, fabricación	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	4,58E+04	kg
	Ventilador	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	4,8E+04	kg
	Ventilador, fabricación	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	4,8E+04	kg
Transporte	Transporte ferroviario	Transporte ferroviario	Transport, freight, rail	RER	1,11E+07	tkm
	Transporte por carretera	Transporte por carretera	Transport, lorry > 16t, fleet average	RER	2,77E+06	tkm
	Red eléctrica	Red de voltaje medio	Transmission network, medium voltage	CH	1	km
Mantenimiento	Agua para limpieza	Agua para limpieza	Water, deionised	CH	1,51E+07	kg
	Robot limpiador	Diesel quemado	Diesel, burned in diesel-electric generating set	0	2,41E+05	MJ

Tabla 4-4. Inventario de Ciclo de Vida de la planta LFC "Puerto Errado 2" (Elaboración propia con información de Kuenlin et al., 2013; Viebahn et al., 2008)

#### 4.4.2. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

##### 4.4.2.1. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles

La caracterización de la planta de tecnología LFC en cuanto a la contribución al agotamiento abiótico por combustibles fósiles, da como resultado que los procesos que generan impacto son aquellos relacionados a la quema de carbón, como se muestra en el gráfico 4-13.

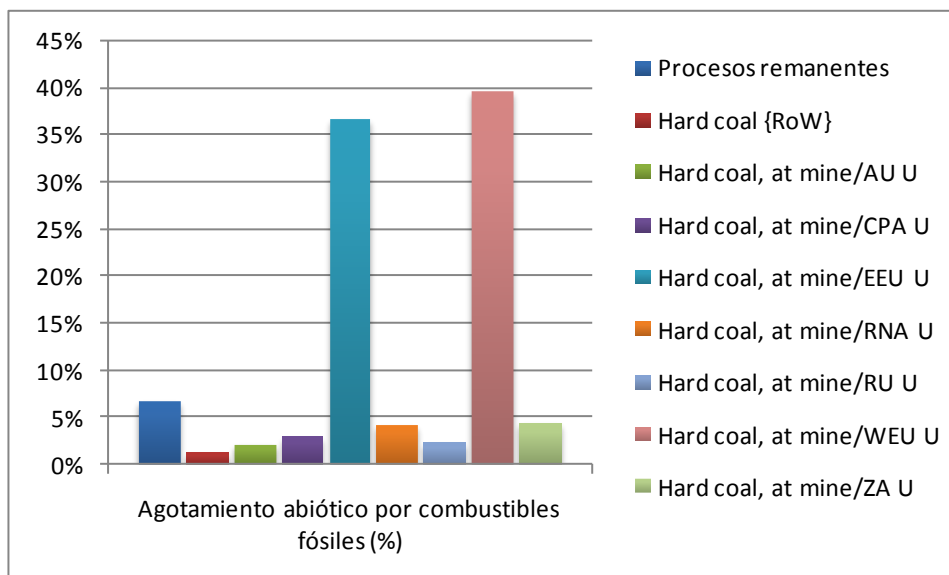


Gráfico 4-13. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - "Puerto Errado 2" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.4.2.2. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico

Como muestra el gráfico 4-14, los factores que más contribuyen al agotamiento abiótico, son el plomo y el zinc, con 38% y 28%, respectivamente, con presencia de otros metales pesados en menor escala.

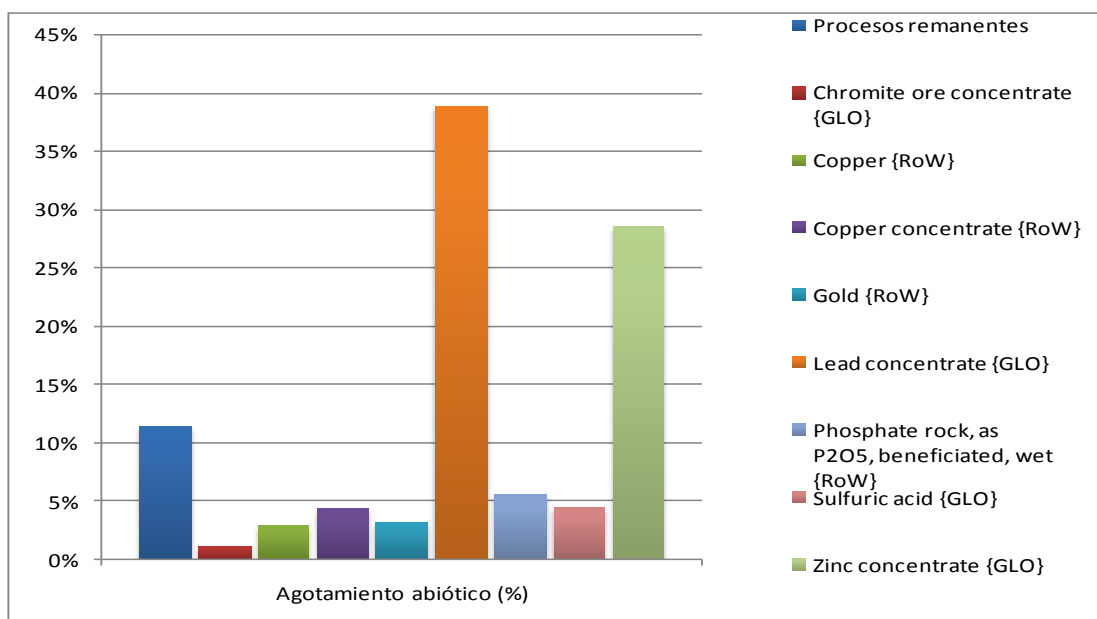


Gráfico 4-14. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico - "Puerto Errado 2" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.4.2.3. Caracterización de la Contribución a la Acidificación

Como se puede observar en el gráfico 4-15, son muchos los factores relacionados a la acidificación, siendo el que más aporta el uso de vidrio recubierto (13%), luego están el transporte marítimo de material (9%) y la síntesis de hierro para la construcción (8%).

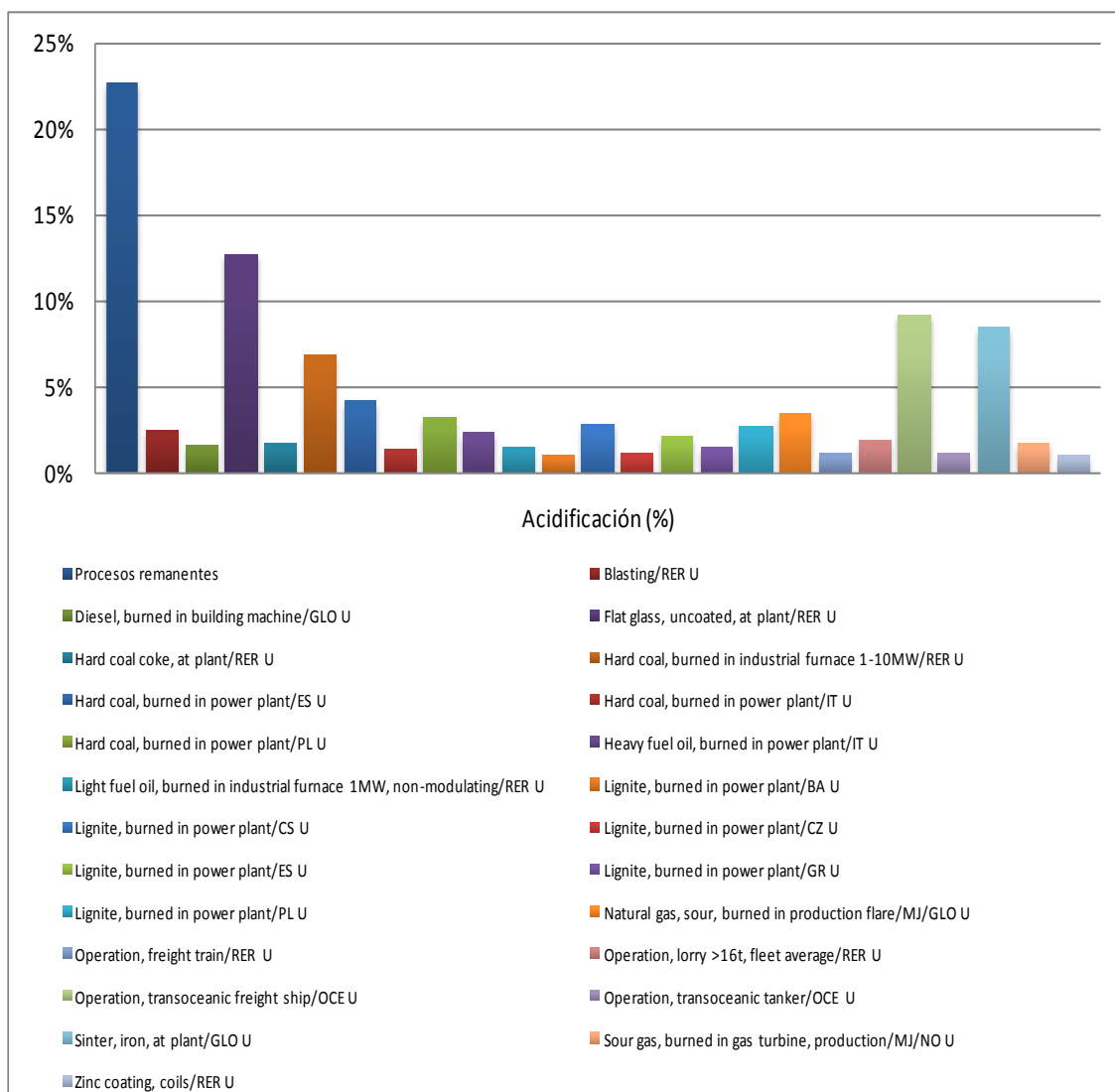


Gráfico 4-15. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - "Puerto Errado 2"

(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.4.2.4. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización

Los factores determinantes en la eutrofización por parte de la planta Puerto Errado 2 son la disposición final de carbones minerales, la de lignito representa el 40% y la de carbón el 25%, como muestra el gráfico 4-16.

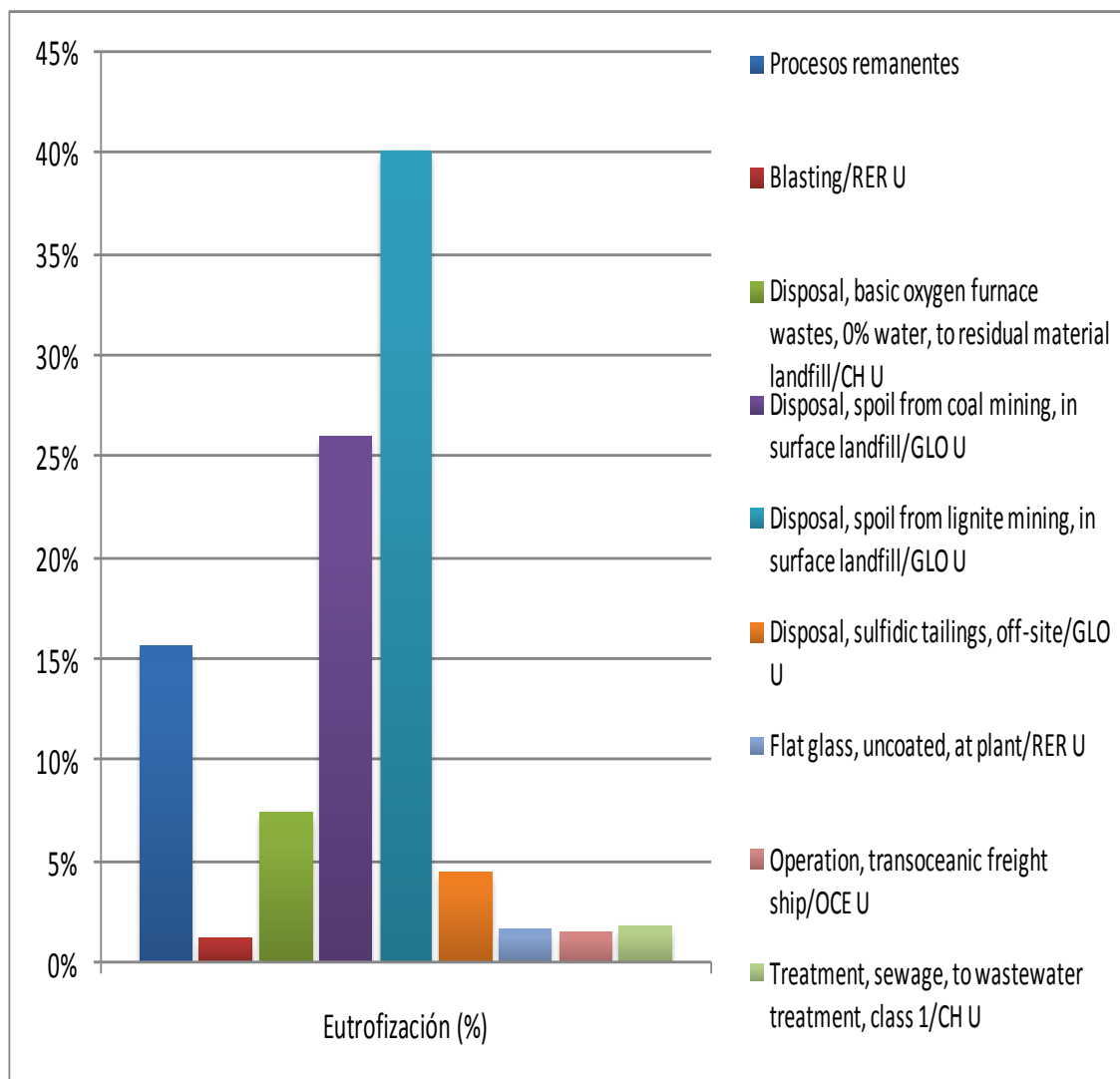


Gráfico 4-16. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Puerto Errado 2"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.4.2.5. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global

El gráfico 4-17 esquematiza los factores contribuyentes al calentamiento global, dando como resultado que la producción de arrabio es lo que más aporta, con más de 15% del total. También tienen valores significativos algunos procesos relacionados con carbón y lignito.

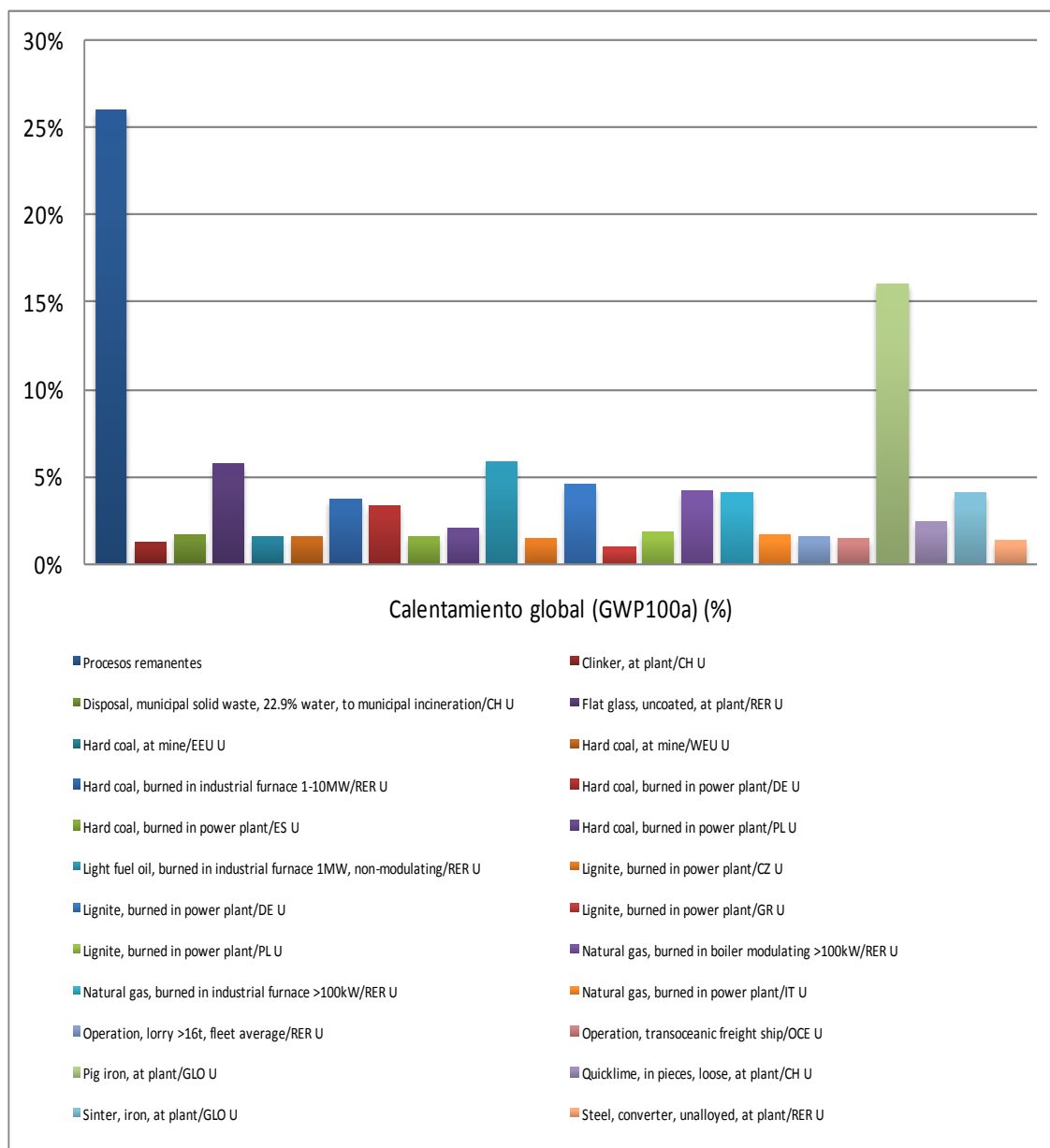


Gráfico 4-17. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Puerto Errado 2"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.4.2.6. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono

De la caracterización de la contribución al agotamiento de la capa de ozono (gráfico 4-18), se verifica que los procesos de mayor incidencia son los relacionados a la utilización de combustibles fósiles, sobre todo en el transporte de materiales.

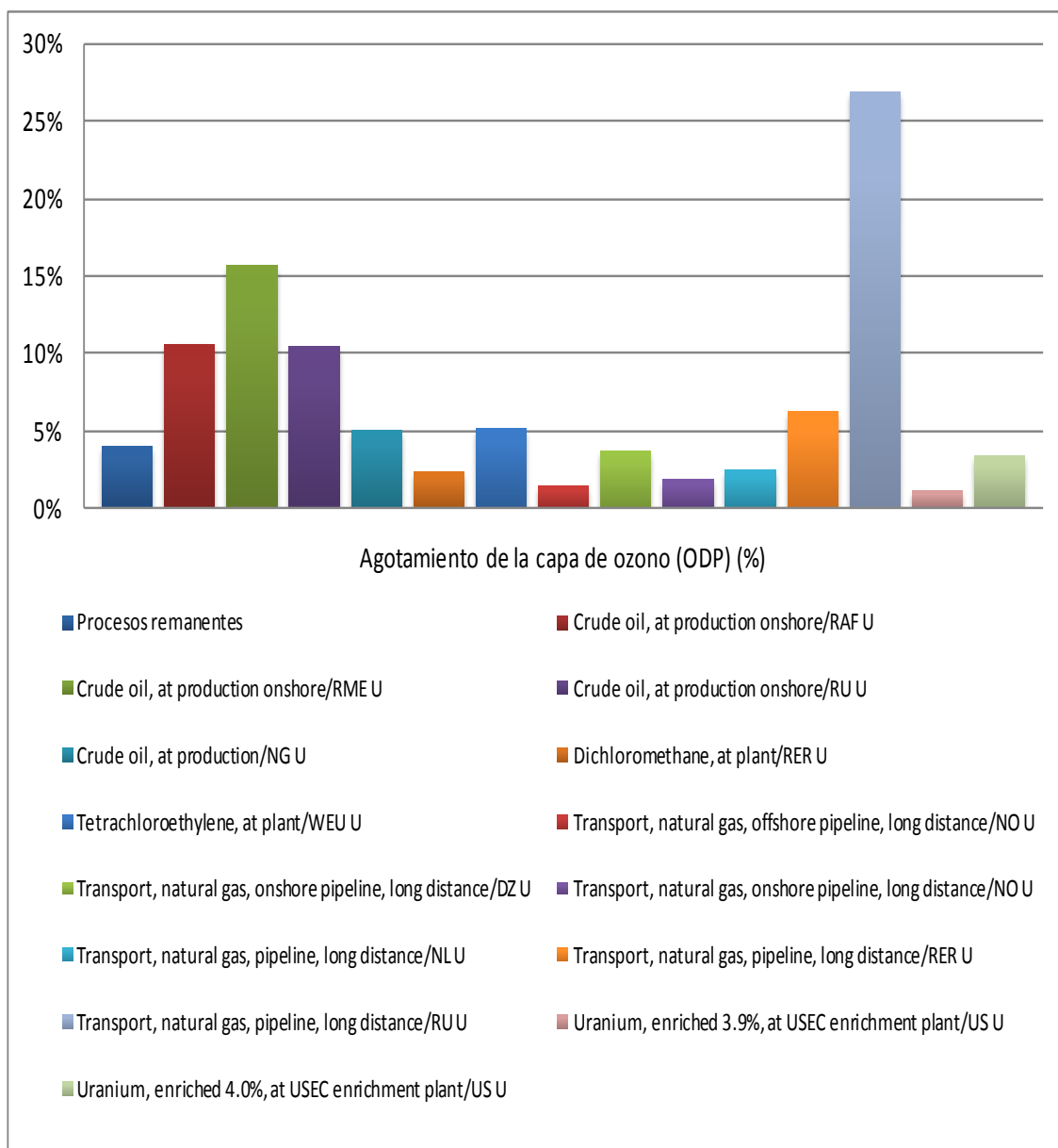


Gráfico 4-18. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - "Puerto Errado 2" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.4.2.7. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica

Para finalizar la evaluación del impacto de la planta de tecnología linear Fresnel, se muestra en el gráfico 4-19 la caracterización de acuerdo a la contribución a la oxidación fotoquímica, mostrando que la síntesis de hierro es el proceso de mayor impacto, con más del 40% del total. Con menor aportación, están la fabricación de acero (6%) y de vidrio plano (5%).

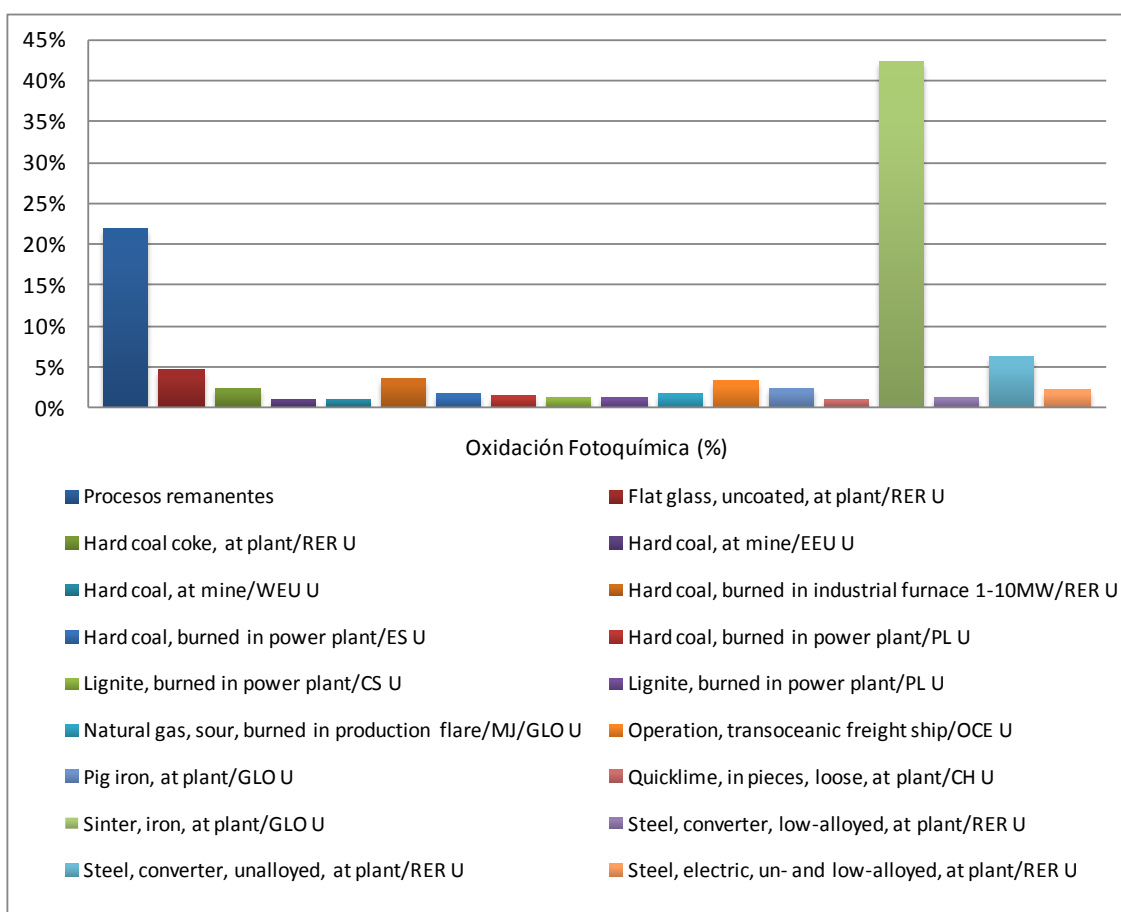


Gráfico 4-19. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - "Puerto Errado 2"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)



#### 4.5. ACV para la tecnología de torre central con helióstatos (SPT) - caso de estudio: planta “Gemasolar”

##### 4.5.1. Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El inventario para la planta “Gemasolar” se observa en la tabla 4-5. Los procesos identificados son: Campo Solar, Receptor, Torre Central, Almacenamiento y Salmuera, Torre de Enfriamiento, Transporte, Mantenimiento, Bloque Potencia y Equipamiento de Potencia.

Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Campo Solar	Espejos	Vidrio plano revestido	Flat glass coated	RER	3,18E+06	kg
	Estructura de acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	1,12E+07	kg
	Fabricación de la estructura	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	1,12E+07	kg
	Fundición del hormigón	Hormigón, fabricación	Concrete, sole plate and foundation	CH	8,15E+03	m3
	Excavación	Sistema hidráulico de excavación	Excavation, hydraulic digger	RER	8,15E+03	m3
Receptor	Receptor de acero	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	5,99E+03	kg
	Fabricación del receptor de acero	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	5,99E+03	kg
	Tuberías frías	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	3,76E+03	kg
	Tuberías frías, fabricación	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	3,76E+03	kg
	Tuberías calientes	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	3,86E+03	kg
	Fabricación de tuberías calientes	Acero cromado, fabricación	Chromium steel product manufact.	RER	3,86E+03	kg
Torre Central	Fundición del hormigón	Hormigón, fabricación	Concrete, sole plate and foundation	CH	5,07E+03	m3
	Excavación	Sistema hidráulico de excavación	Excavation, hydraulic digger	RER	2E+02	m3
	Acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	5,07E+05	kg



Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Almacenamiento y Salmuera	Salmuera	KNO3 (60%NaNO3 40%KNO3)	Potassium nitrate, as N	RER	1,49E+06	kg
	Propano	Propano	Propane/butane	RER	1,78E+03	kg
	NO2, emisiones	NO2, emisiones	Nitrogen oxides, air	0	2,94E+04	kg
Torre de Enfriamiento	Hormigón	Hormigón	Concrete, normal	CH	8,43E+01	kg
	Acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	2,97E+04	kg
	Acero, fabricación	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	2,97E+04	kg
Transporte	Transporte ferroviario	Transporte ferroviario	Transport, freight, rail	RER	1,4E+06	tkm
	Transporte por carretera	Transporte por carretera	Transport, lorry > 16t, fleet average	RER	3,46E+06	tkm
	Transporte oceánico	Transporte oceánico	Transport, transoceanic freight ship	OCE	2,38E+07	tkm
	Red eléctrica	Red de voltaje medio	Transmission network, medium voltage	CH	1	km
Mantenimiento	Agua para limpieza	Agua para limpieza	Water, deionised	CH	1,75E+08	kg
	Transporte de agua	Transporte de agua	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average	RER	1,26E+07	tkm
	Agua para enfriamiento	Agua para enfriamiento	Water, decarbonised	RER	2,49E+11	kg
Bloque Potencia	Acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	3,78E+05	kg
	Cobertura de cerámica	Cerámica	Ceramic Tiles	CH	1,69E+04	kg
	Acero cromado	Acero cromado	Chromium steel 18/8	RER	4,55E+03	kg
Equipamiento de Potencia	Acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	5,7E+04	kg
	Aleación de magnesio AZ91	Aleación de magnesio AZ91	Magnesium, alloy, AZ91	RER	1,5E+04	kg
	Tubos PVC A	Tubos PVC A	PVC, pipe e	RER	1,5E+04	kg

Tabla 4-5. Inventario de Ciclo de Vida de la planta SPT “Gemasolar” (Elaboración propia con información de Kuenlin et al., 2013; Viebahn et al., 2008)

## 4.5.2. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

### 4.5.2.1. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles

Como muestra el gráfico 4-20, los factores de la planta Gemasolar que más contribuyen al agotamiento abiótico son los relacionados al carbón, y en menor medida a la producción y empleo de PVC para tuberías.

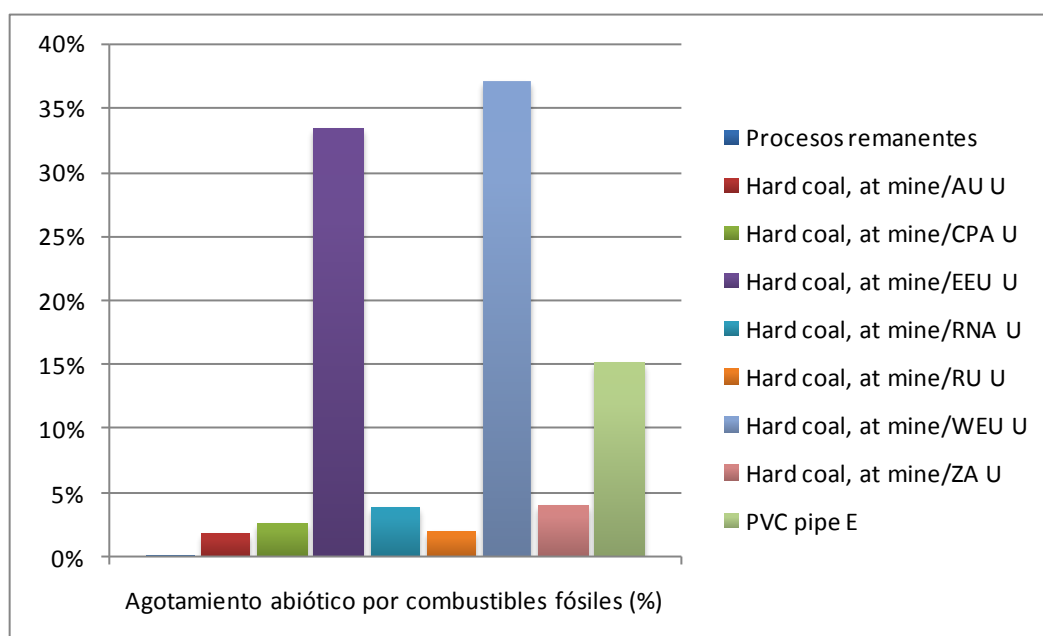


Gráfico 4-20. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - "Gemasolar" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

### 4.5.2.2. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico

La caracterización de la contribución al agotamiento abiótico da como resultado que el único factor que aporta es la utilización de tubos de policloruro de vinilo (PVC).

### 4.5.2.3. Caracterización de la Contribución a la Acidificación

Acerca de la contribución a la acidificación por parte de la planta SPT, el ácido nítrico representa el 15%, y luego están la quema de carbones minerales y la producción de vidrio. El esquema se puede observar en el gráfico 4-21.

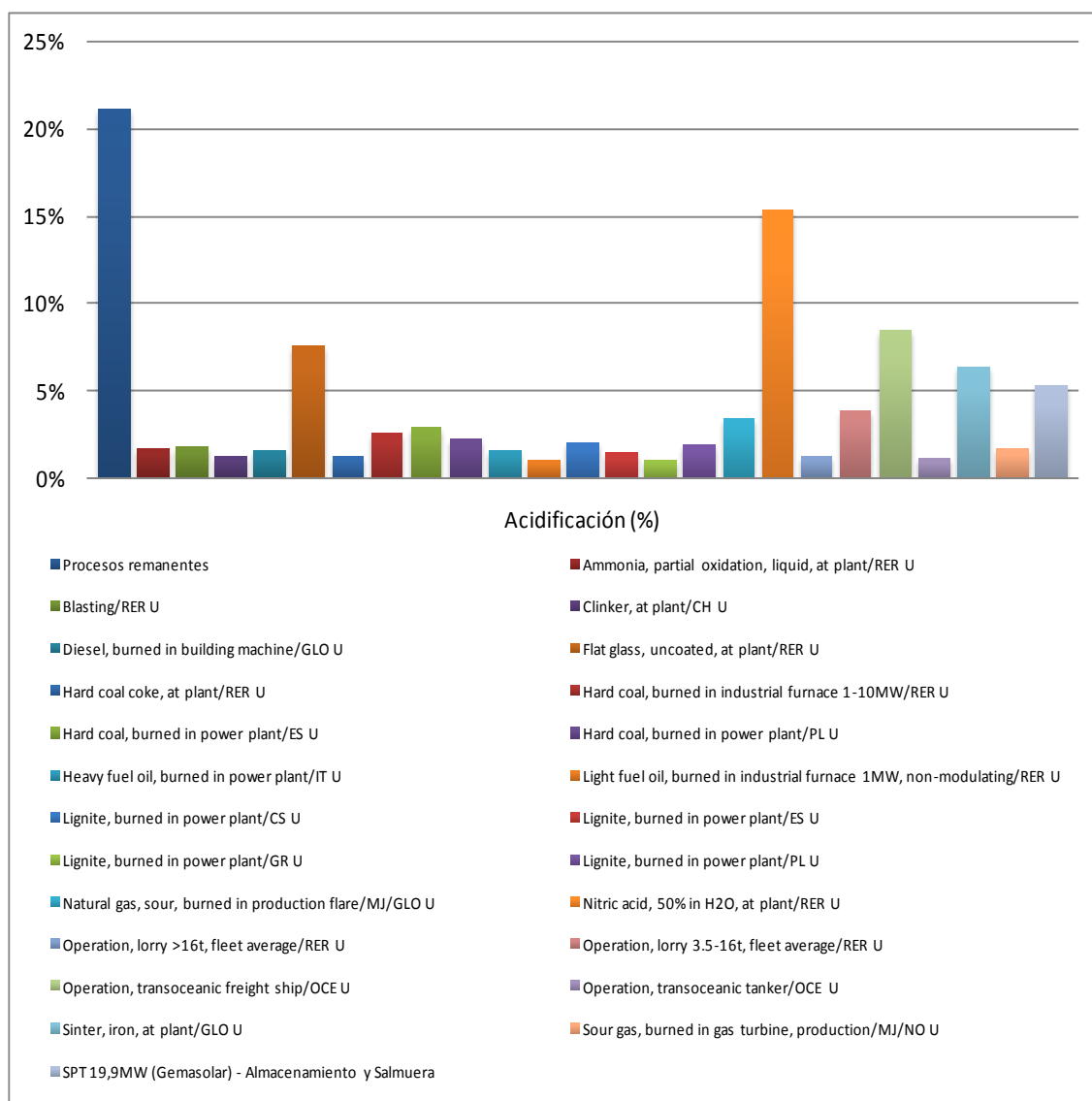


Gráfico 4-21. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - "Gemasolar" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.5.2.4. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización

Los datos obtenidos (gráfico 4-22) muestran que los procesos que contribuyen mayoritariamente a la eutrofización son la disposición de lignito y carbón, y la producción de ácido nítrico, con 28%, 19% y 18%, respectivamente.

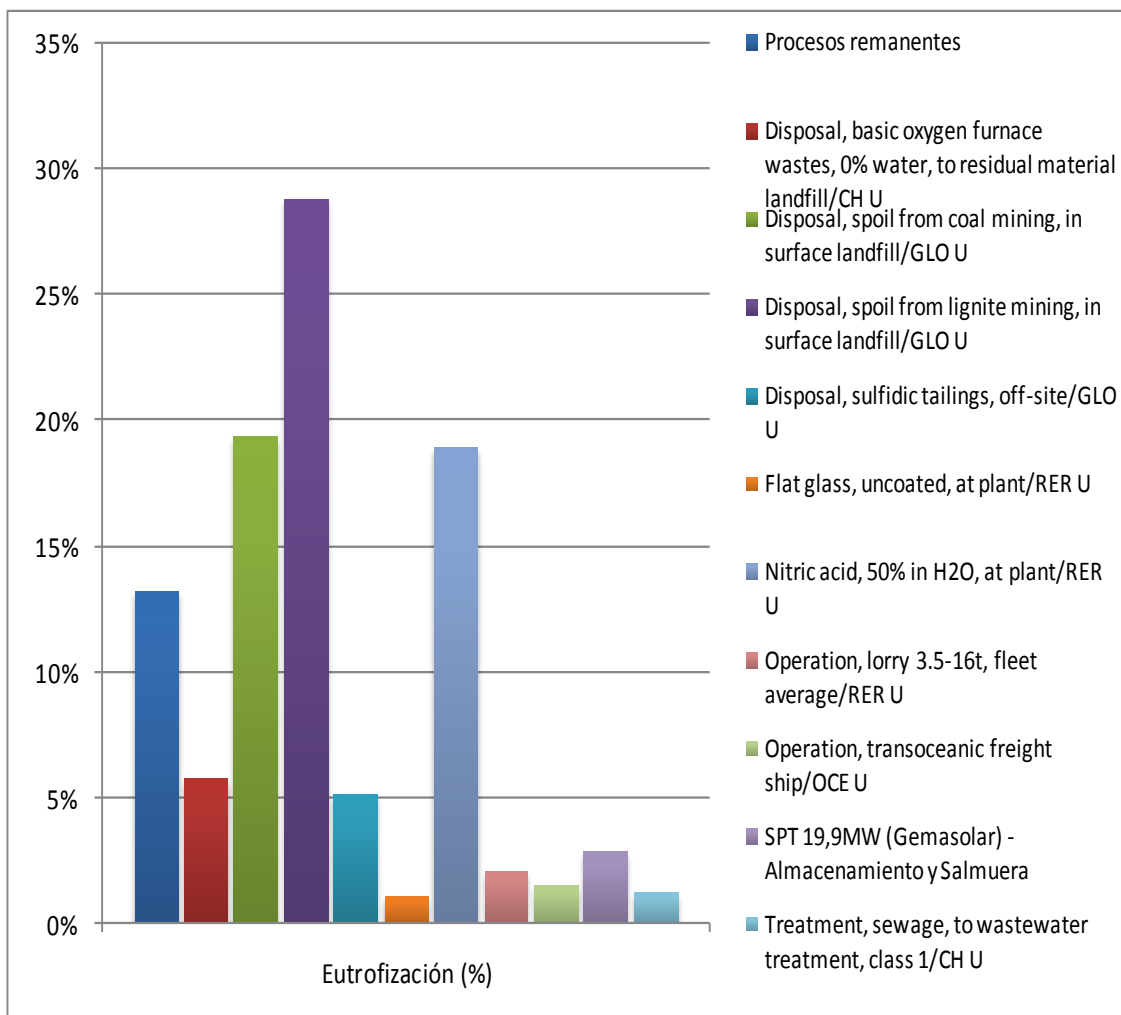


Gráfico 4-22. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Gemasolar" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.5.2.5. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global

Como muestra el gráfico 4-23, los procesos que contribuyen en mayor medida al calentamiento global por parte de la planta Gemasolar son el ácido nítrico (22%) y el uso de arrabio (10%). También son de importancia el uso de gas natural y clínker, componente básico del hormigón, con entre 4% y 5% cada uno.

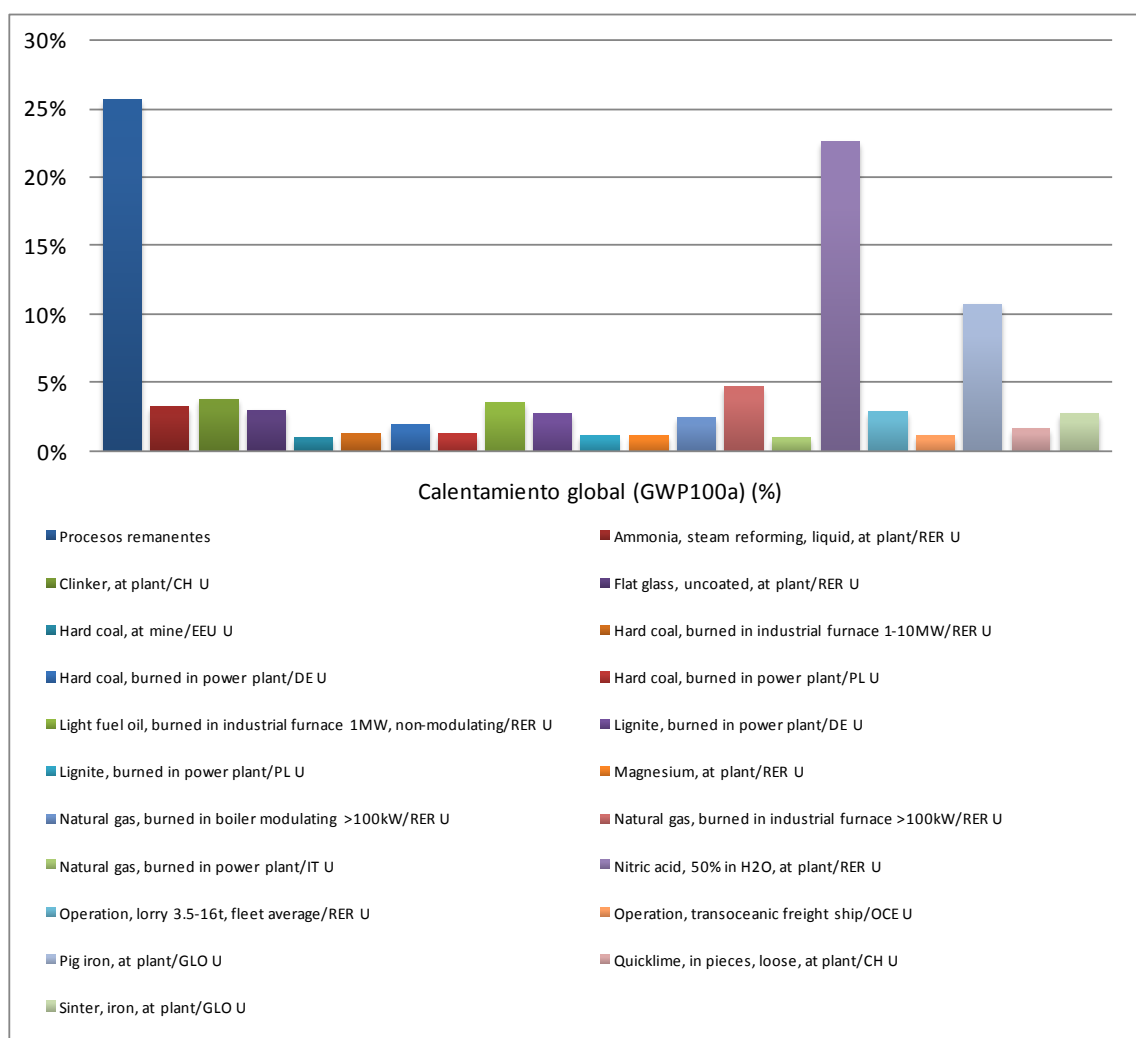


Gráfico 4-23. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Gemasolar"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.5.2.6. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono

El gráfico 4-24 esquematiza la contribución al agotamiento de la capa de ozono por parte de la planta Gemasolar. Se puede resaltar que la mayor contribución es la del proceso de transporte, en especial de gas natural, y la producción de petróleo crudo.

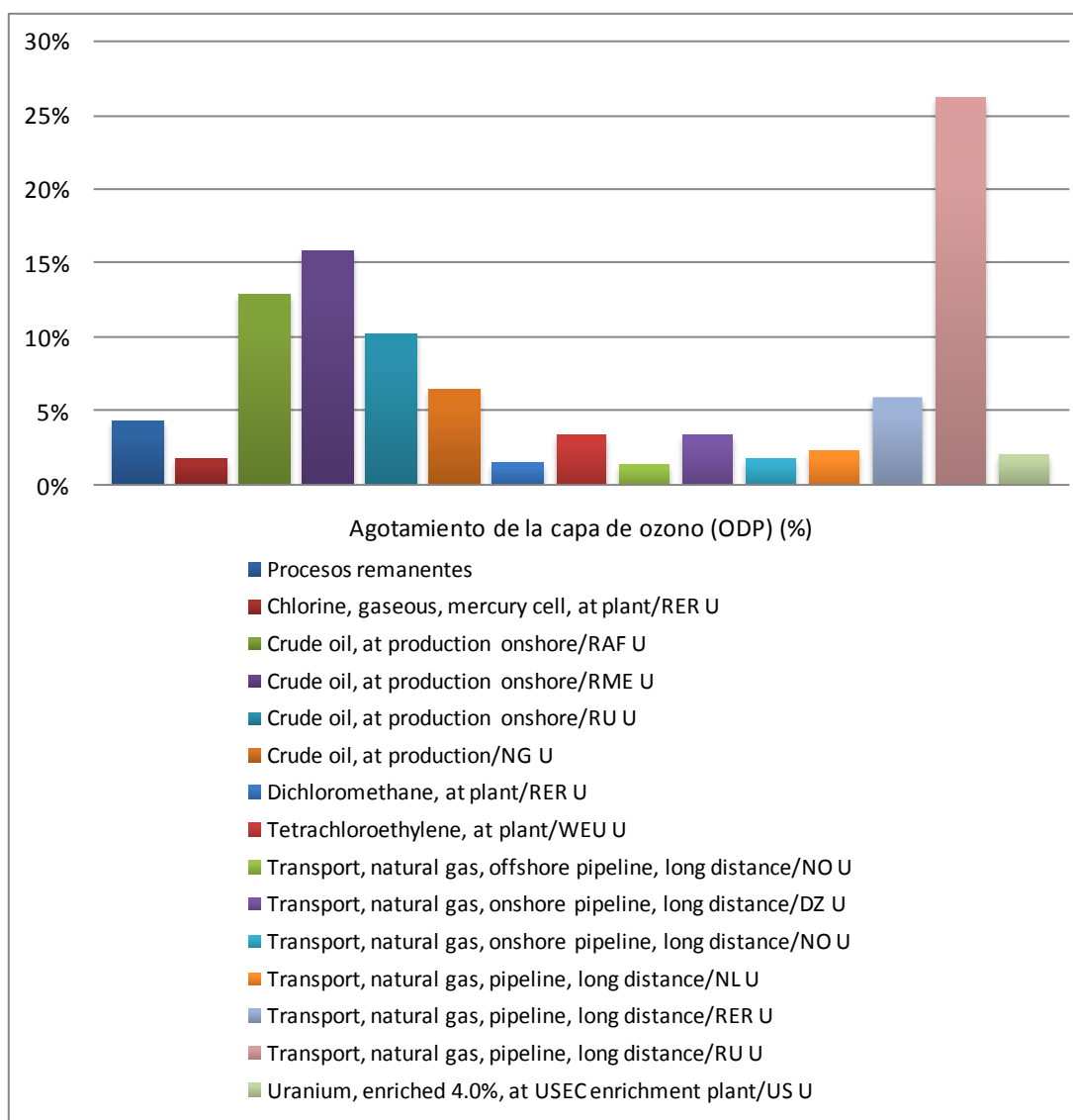


Gráfico 4-24. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - "Gemasolar" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.5.2.7. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica

Acerca de la contribución a la oxidación fotoquímica, la síntesis de hierro es el factor más representativo, con más del 40%. Además, la producción de acero en diferentes estados de aleación representa en total aproximadamente el 10% (gráfico 4.25).

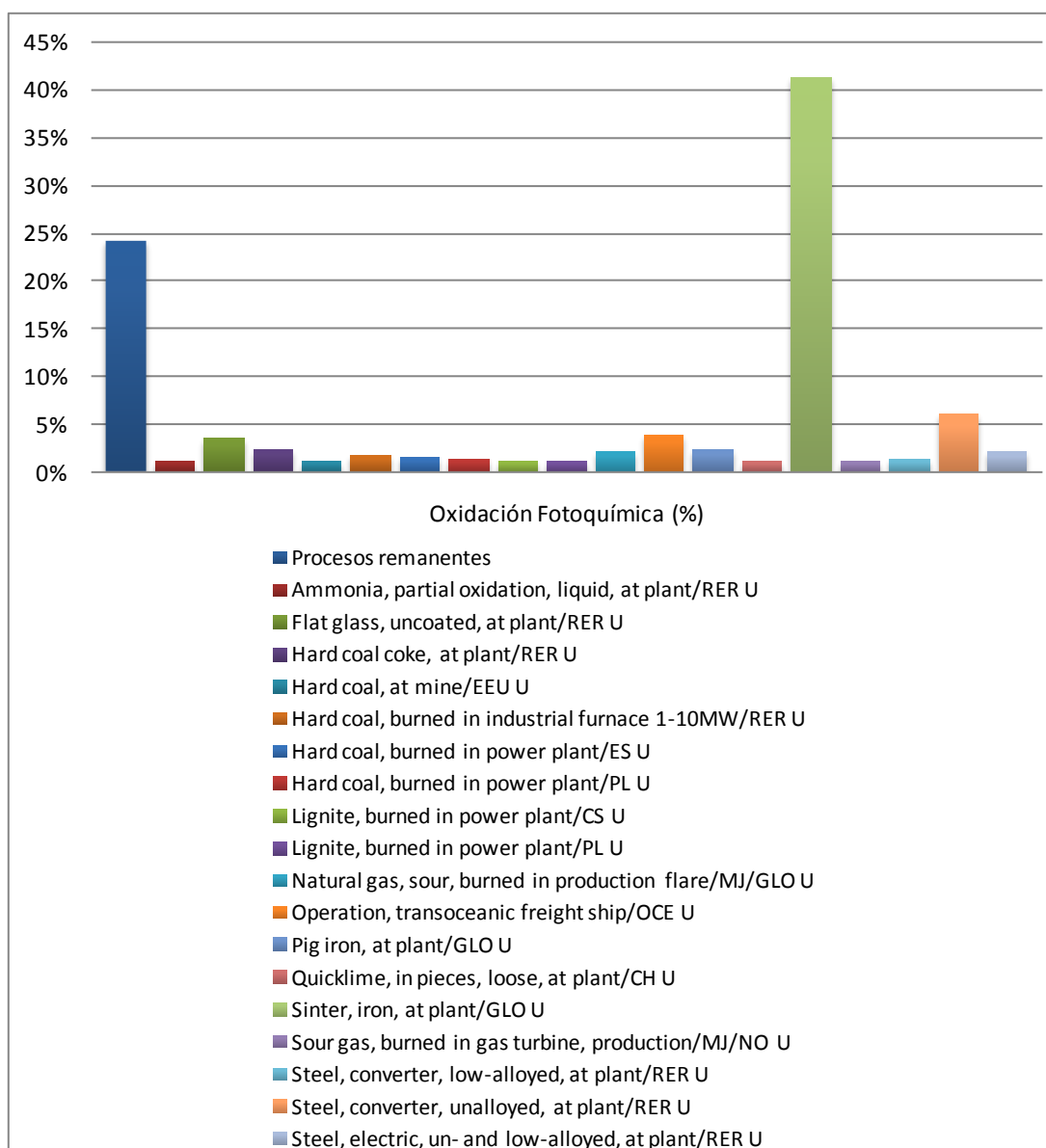


Gráfico 4-25. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - "Gemasolar"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)



#### 4.6. ACV para la tecnología de captadores de disco parabólicos (PDC) - caso de estudio: planta “Maricopa”

##### 4.6.1. Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El inventario para la planta “Maricopa” se observa en la tabla 4-6. Los procesos identificados son: Campo Solar, Acondicionador de Energía (PCU – referente a los motores Stirling), Transporte y Mantenimiento. Vale indicar que esta planta está actualmente fuera de operación y que la información obtenida corresponde al período 2010-2011 (Kuenlin et al., 2013).

Zona / Proceso	Elemento	Material / Proceso	Equivalencia en Ecoinvent 3	Fuente	Cantidad	Unidad
Campo Solar	Espejos	Vidrio plano revestido	Flat glass coated	RER	5,46E+04	kg
	Estructura de acero	Acero reforzado	Reinforcing steel	RER	3,22E+05	kg
	Fabricación de la estructura	Acero reforzado, fabricación	Steel product manufact.	RER	3,22E+05	kg
	Fundición del hormigón	Hormigón, fabricación	Concrete, sole plate and foundation	CH	60	m3
	Excavación	Sistema hidráulico de excavación	Excavation, hydraulic digger	RER	60	m3
PCU	Motor Stirling	Motor Stirling	Stirling cogen unit 3 kWe, wood pellets	CH	167	unit
Transporte	Transporte ferroviario	Transporte ferroviario	Transport, freight, rail	RER	3,18E+05	tkm
	Transporte por carretera	Transporte por carretera	Transport, lorry > 16t, fleet average	RER	6,19E+04	tkm
	Red eléctrica	Red de voltaje medio	Transmission network, medium voltage	CH	1	km
Mantenimiento	Agua para limpieza	Agua para limpieza	Water, deionised	CH	3E+06	kg
	Transporte de agua	Transporte de agua	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average	RER	3,47E+03	tkm

Tabla 4-6. Inventario de Ciclo de Vida de la planta PDC “Maricopa” (Elaboración propia con información de Kuenlin et al., 2013; Viebahn et al., 2008)

## 4.6.2. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

### 4.6.2.1. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles

La planta de tecnología PDC Maricopa, en la caracterización del agotamiento abiótico, presenta casi exclusivamente procesos relacionados con combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas natural, además de la producción de polietileno. Esto se puede verificar en el gráfico 4-26.

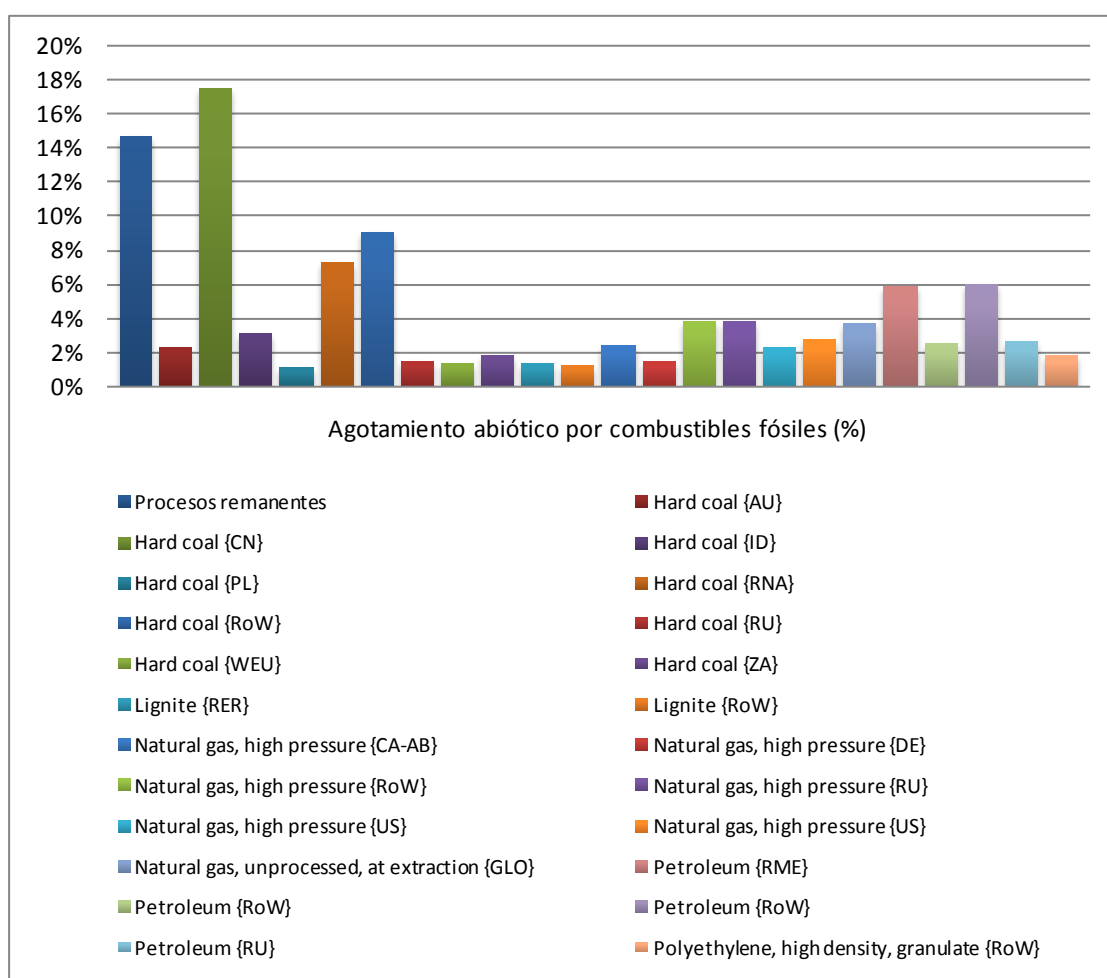


Gráfico 4-26. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico tomando en cuenta Combustibles Fósiles - “Maricopa” (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.6.2.2. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico

Como muestra el gráfico 4-27, los factores que contribuyen al agotamiento abiótico son los metales pesados utilizados sobre todo en la construcción, resaltando diferentes procesos de cobre, cromo y estaño.

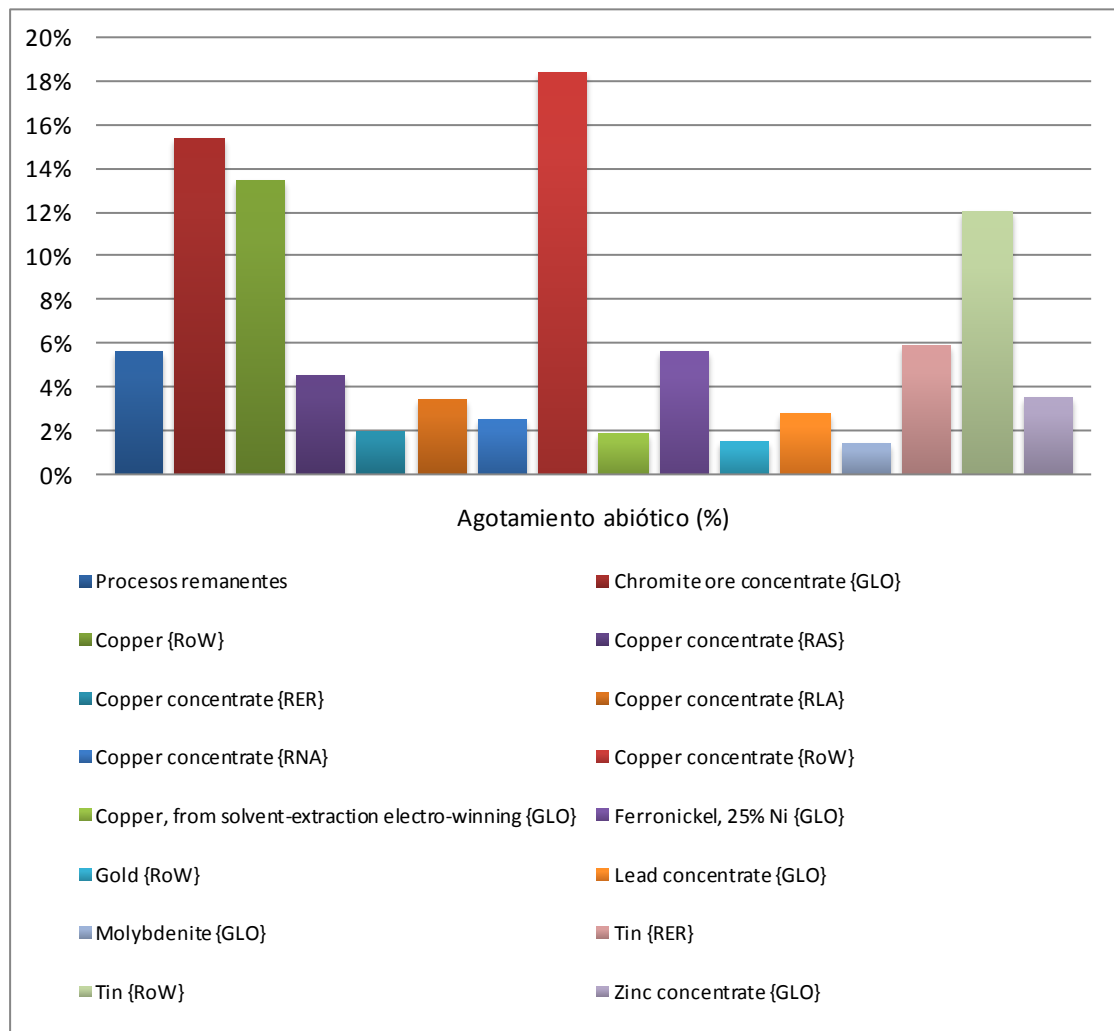


Gráfico 4-27. Caracterización de la Contribución al Agotamiento Abiótico - "Maricopa"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

### 4.6.2.3. Caracterización de la Contribución a la Acidificación

El gráfico 4-28 esquematiza la contribución a la acidificación por parte de la planta Maricopa. Ningún factor aporta más del 7%, siendo los que más contribuyen los procesos relacionados a la quema de carbón, el transporte oceánico y la síntesis de hierro.

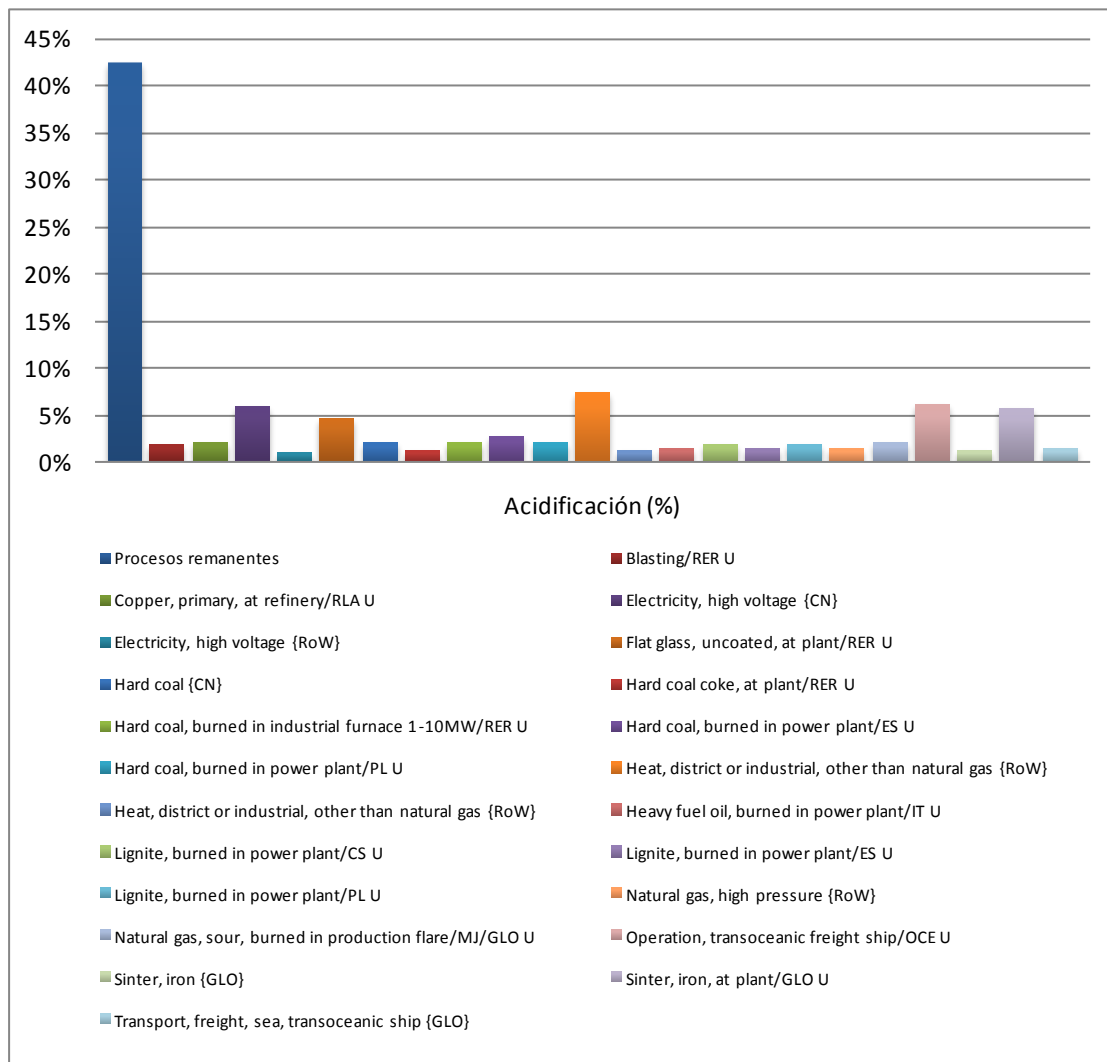


Gráfico 4-28. Caracterización de la Contribución a la Acidificación - “Maricopa” (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.6.2.4. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización

Acerca de la eutrofización, los factores más significativos son la disposición de lignito y carbón (25% y 16%, respectivamente). La disposición de residuos sulfurados representa poco más del 10%, como se puede observar en el gráfico 4-29.

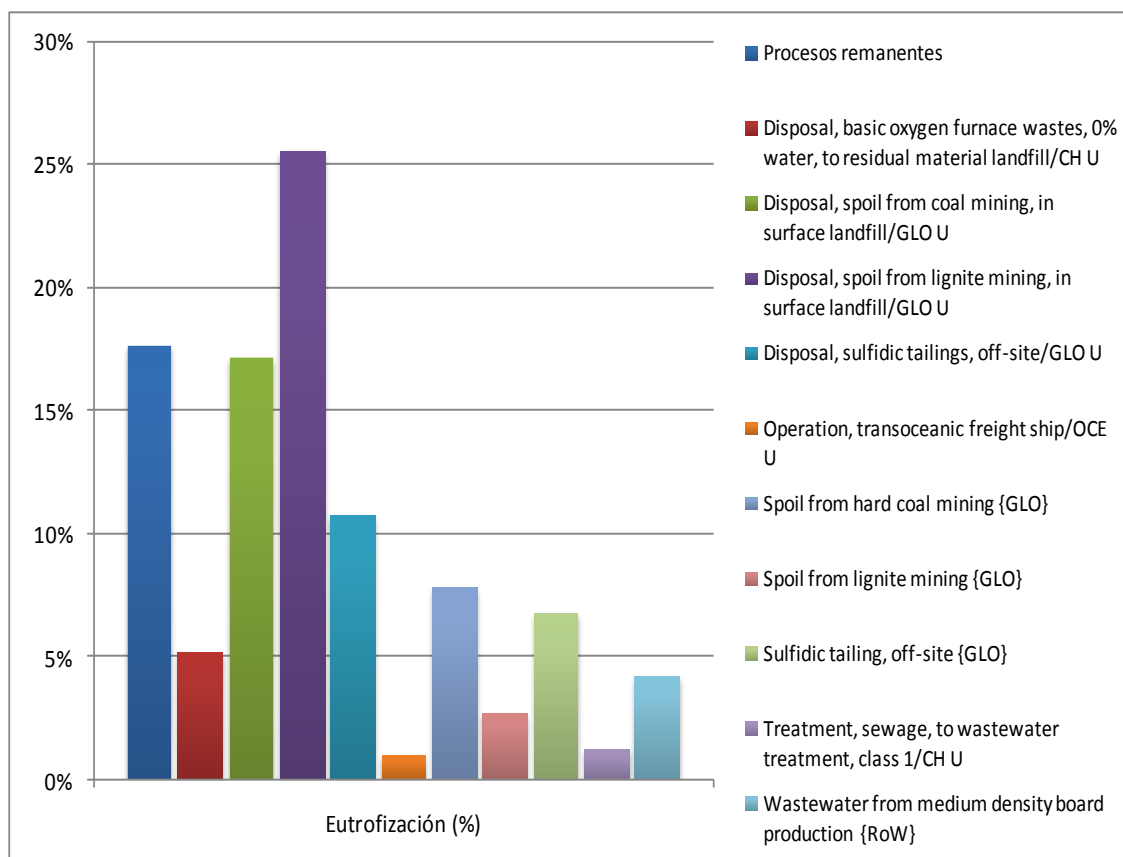


Gráfico 4-29. Caracterización de la Contribución a la Eutrofización - "Maricopa" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.6.2.5. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global

La caracterización de la contribución al calentamiento global de la planta Maricopa (gráfico 4-30), da como resultado que la producción de arrabio es el factor de mayor incidencia, con el 12% del total, luego se encuentran procesos relacionados al uso de combustibles fósiles; algunos de ellos alcanzan entre 3% y 5%.

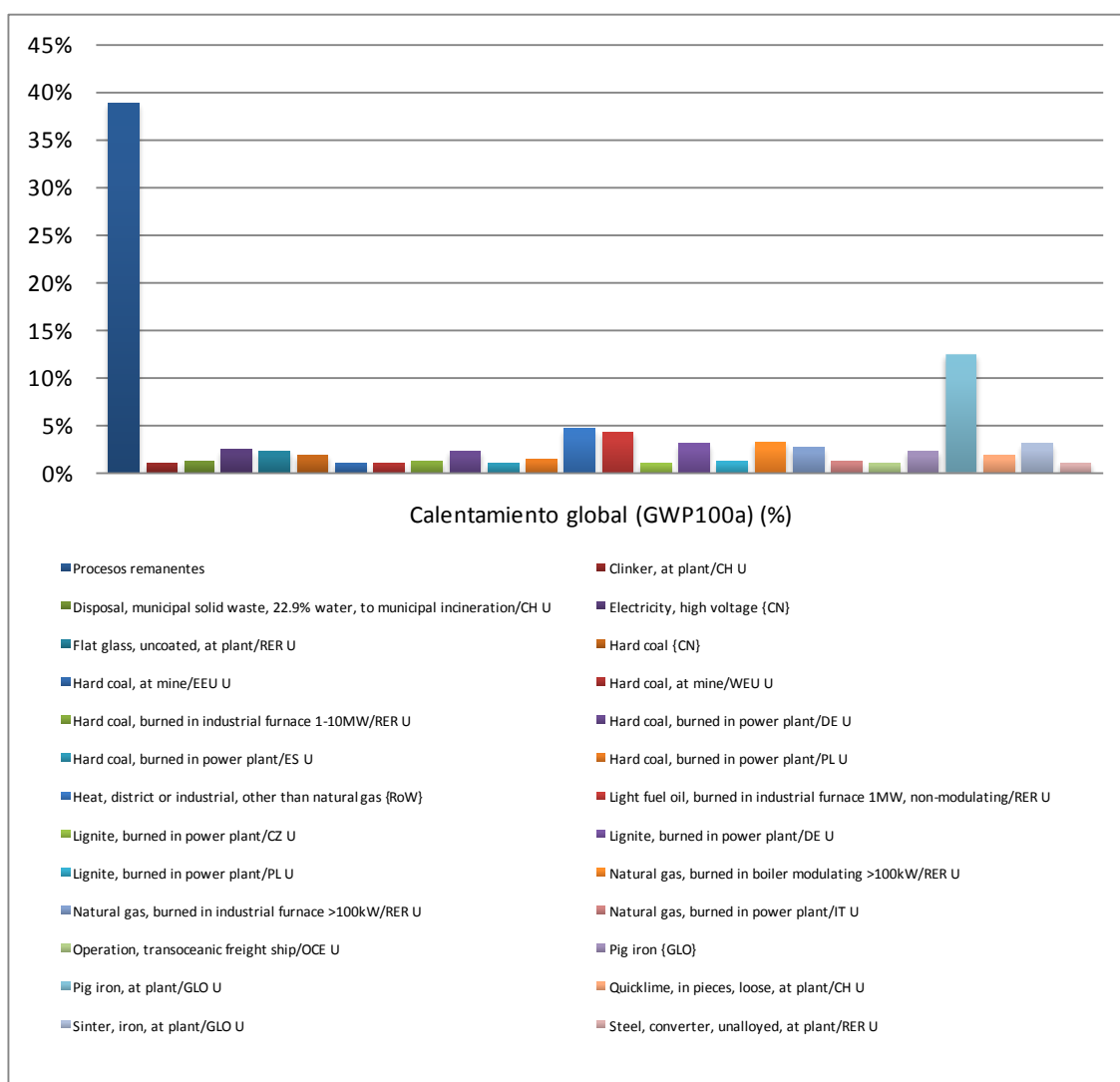


Gráfico 4-30. Caracterización de la Contribución al Calentamiento Global - "Maricopa"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.6.2.6. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono

Como muestra el gráfico 4-31, los factores que más contribuyen al agotamiento de la capa de ozono, son el transporte de gas natural (17%) y la producción de petróleo crudo (11%), y en menor medida otros procesos relacionados al petróleo y el transporte de material.

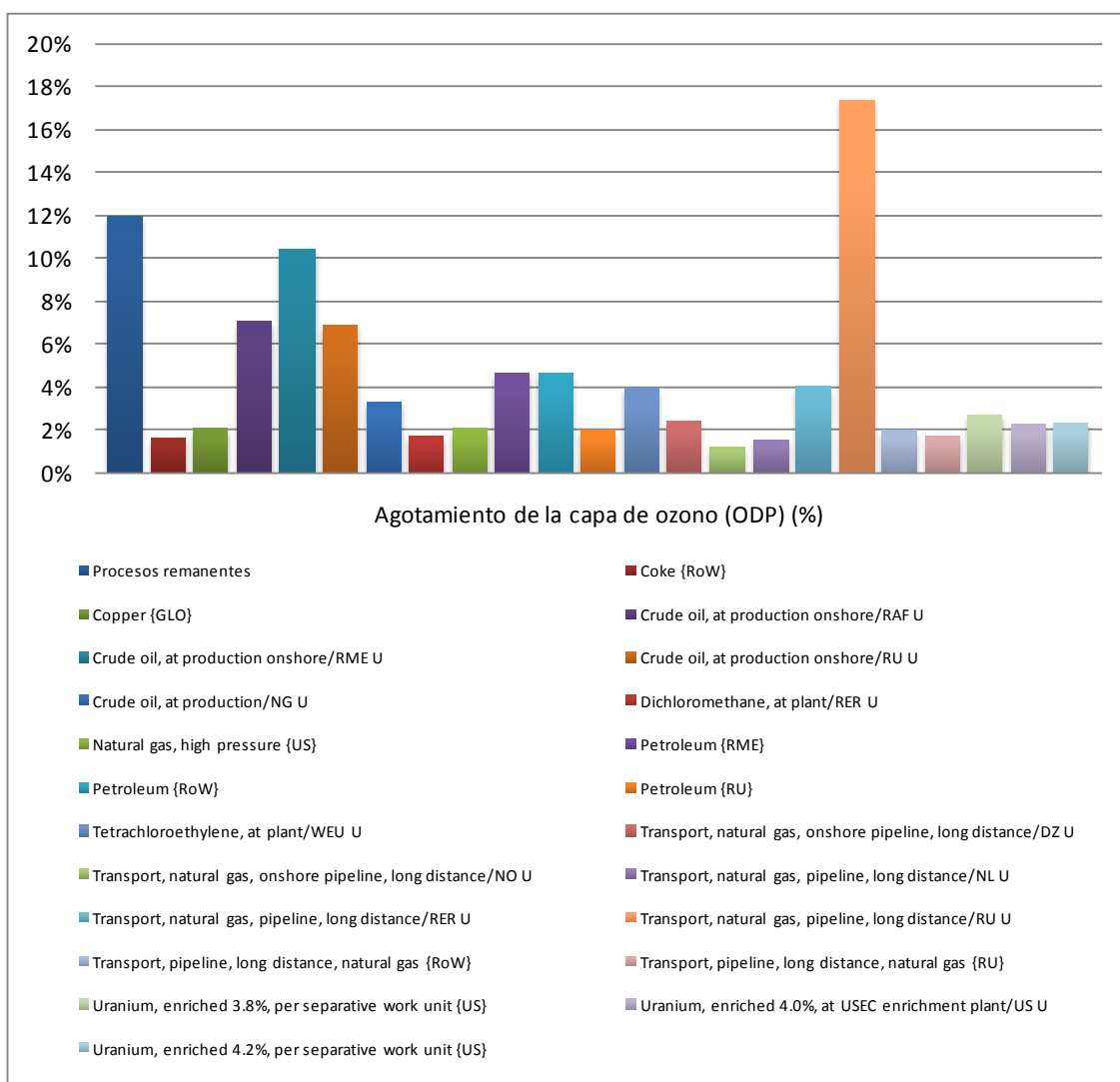


Gráfico 4-31. Caracterización de la Contribución al Agotamiento de la Capa de Ozono - "Maricopa" (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.6.2.7. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica

Finalmente, acerca de la contribución a la oxidación fotoquímica, el gráfico 4-32 muestra que el factor de mayor contribución es la síntesis de hierro (35% sumando los 2 tipos). También son significativos el uso de gas natural y la producción de hierro, con 4% cada uno.

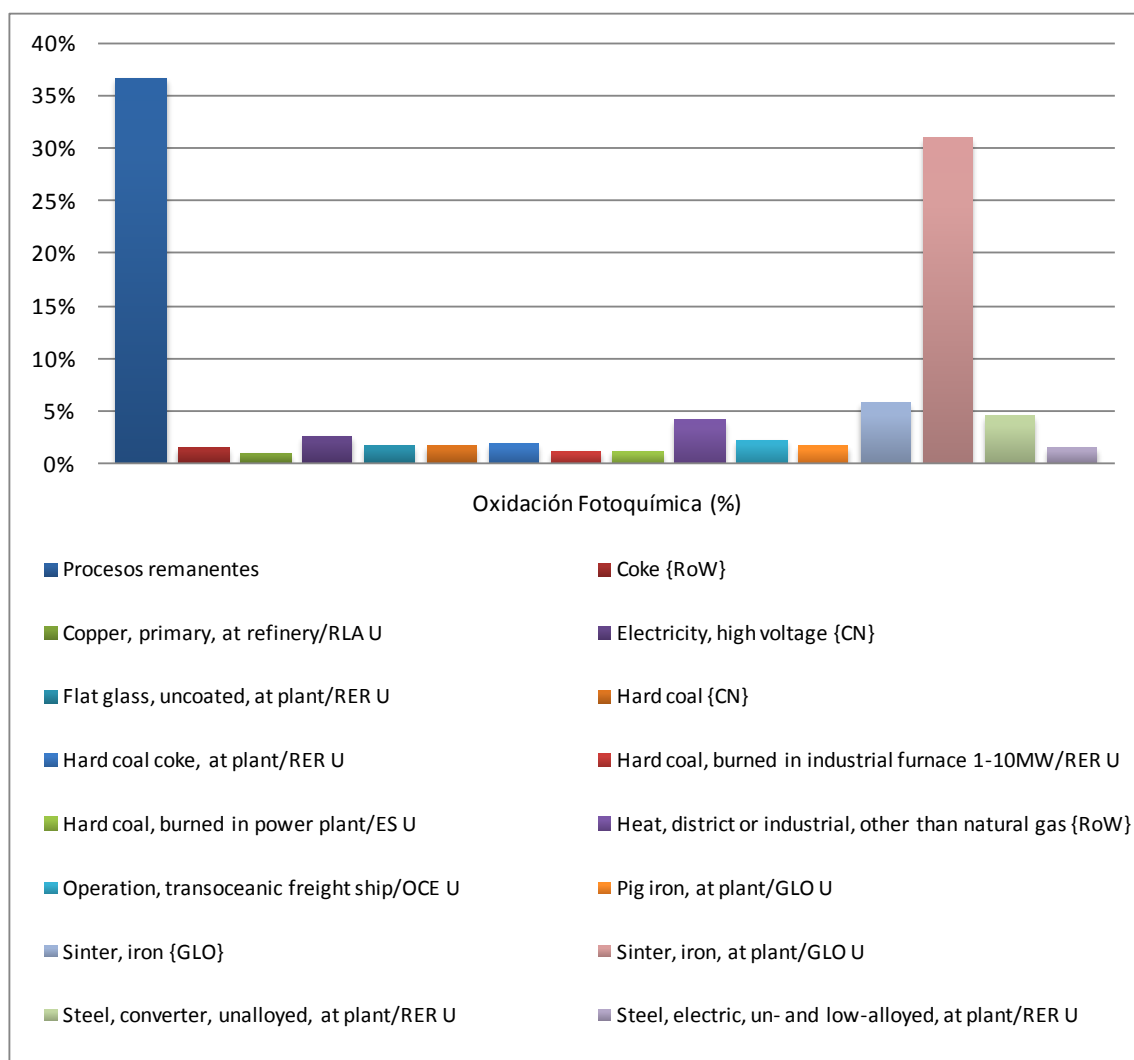


Gráfico 4-32. Caracterización de la Contribución a la Oxidación Fotoquímica - "Maricopa"  
(Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)



#### 4.7. Interpretación de resultados

Como se describió en el Capítulo 2, en la sección 2.4.2.4 y específicamente en la tabla 2-4, las normas ISO 14040 y 14044 establecen algunas directrices para realizar la interpretación del ciclo de vida. Así, en la tabla 4-7 se ha desarrollado algunos contenidos de las normas referidas, útiles en el análisis de cumplimiento de objetivos y de rigurosidad del estudio. En general, se puede decir que se ha cumplido los objetivos y en cuanto a la evaluación, que se ha propendido a la integridad, disminución de incertidumbre y coherencia de resultados.

Interpretación del Ciclo de Vida		
Título	Contenido	Desarrollo
Generalidades	Resultados coherentes con objetivo y alcance	Se obtuvo resultados de contaminación para cada planta de acuerdo a categorías establecidas
	Revisión de objetivo y alcance	Se cumplió el objetivo de comparar las diferentes tecnologías CSP
	Evaluación	No existe acceso a la información de todos los materiales usados por una planta, ni de los flujos de energía
	Iteración	Se dio iteración e incluso se cambió los límites del estudio debido a que no existían datos del proceso de abandono
Identificación de los asuntos significativos	Estructuración de resultados	Tabla 4-8 y gráfico 4-32, datos de inventario en secciones anteriores
	Datos de inventario	
	Categorías de impacto	
Evaluación	Verificación del análisis de integridad	Los inventarios se realizaron con información de 3 artículos diferentes, no se asumió valores
	Verificación del análisis de sensibilidad	Se utilizó categorías de impacto con incertidumbres no tan altas
	Verificación del análisis de coherencia	Los resultados obtenidos son coherentes con los datos analizados

Tabla 4-7. Interpretación del Ciclo de Vida (Elaboración propia en base a criterios establecidos en normas ISO 14040 y 14044)

Para la comparación entre las diferentes plantas de generación termosolar, se utilizó el programa SimaPro 8, que entre sus funciones tiene el análisis comparativo para materiales, procesos y en este caso sistemas. Los resultados obtenidos pueden observarse en la tabla 4-8 y el gráfico correspondiente, 4-32.

Categoría de impacto	Unidad (por kWh)	PTC "Andasol I"	LFC "Puerto Errado 2"	SPT "Gemasolar"	PDC "Maricopa"
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	3,2882E-08	1,4364E-10	1,78449E-12	5,1421E-08
Agotamiento abiótico por combustibles fósiles	MJ	0,09095874	0,00319729	0,002132418	0,06545327
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	0,04012876	0,02837397	0,027095736	0,01859177
Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	3,4775E-09	1,932E-09	1,69259E-09	1,2699E-09
Toxicidad a la salud humana	kg 1,4-DB eq	0,06515614	0,04468216	0,012957216	0,0192166
Ecotoxicidad al agua dulce	kg 1,4-DB eq	0,00535247	0,0048695	0,00253357	0,00618824
Ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq	24,7141705	27,2244021	15,86628304	25,1298083
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,00025398	0,00040568	0,000230545	0,00060957
Oxidación Fotoquímica	kg C2H4 eq	1,1376E-05	1,0059E-05	6,60721E-06	7,0548E-06
Acidificación	kg SO2 eq	0,00023813	0,00011895	0,000101213	8,9998E-05
Eutrofización	kg PO4--- eq	8,9202E-05	6,0487E-05	4,91073E-05	4,3953E-05

Tabla 4-8. Resultados comparativos de impacto ambiental de las 4 tecnologías CSP según las categorías determinadas (Resultados obtenidos de SimaPro 8)

Para la comparación se excluyeron los datos de las categorías: Toxicidad a la salud humana, Ecotoxicidad al agua dulce, Ecotoxicidad acuática marina y Ecotoxicidad terrestre, dado que como se explicó en la sección 4.2.1 y en la tabla 4-2, son categorías de mayor incertidumbre.

Finalmente, excluyendo las categorías mencionadas, a través de un gráfico de barras apiladas (gráfico 4-33), se puede observar el impacto ambiental generado por las 4 plantas CSP, por cada categoría. Se concluye que la de discos parabólicos (PTC) es la que mayor impacto genera en términos generales, siendo además la que mayor impacto genera para cada categoría, excepto "agotamiento abiótico", seguida por la de discos parabólicos (PDC) que precisamente es la que mayor impacto causa en este último rubro. Las plantas de tecnología linear Fresnel (LFC) y torre central (SPT) son las que menor impacto generan, destacándose por sus prestaciones y por el desarrollo tecnológico que ha venido teniendo, la tecnología SPT.

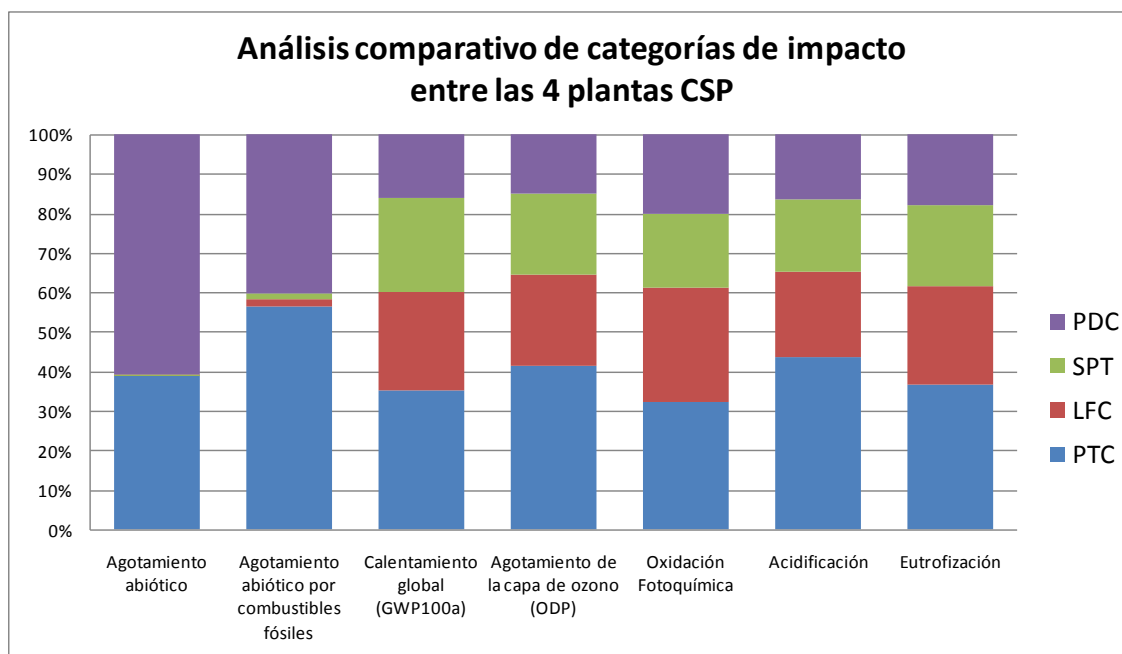


Gráfico 4-33. Análisis comparativo de impacto ambiental de las 4 plantas CSP (Elaboración propia con datos obtenidos en SimaPro 8)

#### 4.8. Análisis de resultados

Con base en las secciones 3-6 y 4-7, en que se describió los indicadores y se obtuvo los datos de estos indicadores, respectivamente, la tabla 4-9, en que se describe las áreas de protección según las categorías de impacto, y en el gráfico 4-34, en que se esquematiza las relaciones entre los impactos y sus efectos, se procederá al análisis de los resultados para cada indicador o categoría.

La tabla 4-9 describe las áreas de protección que se han definido para las categorías de impacto. Estas áreas son 4: I, salud humana, II, entorno natural, III, entorno modificado por los seres humanos y IV, elementos naturales (Guinée et Al, 2002, citados por Antón, 2004). Como se puede ver, la contribución al agotamiento abiótico, con o sin combustibles fósiles, tiene efecto exclusivamente sobre los elementos naturales, mientras que las otras categorías afectan en todos los casos a mínimo 3 de las áreas de protección.

Categoría	Unidad de medida	Área de Protección
Contribución al agotamiento abiótico	kg Sb eq	IV
Contribución al agotamiento abiótico (tomando en cuenta combustibles fósiles)	MJ	IV
Contribución a la acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	I, II, III, IV
Contribución a la eutrofización	kg PO <sub>4</sub> --- eq	I, III, IV
Contribución al calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq	I, II, III
Contribución al agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	I, II, III, IV
Contribución a la oxidación fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	I, II, III, IV

Tabla 4-9. Categorías de impacto según área de protección (Guinée et Al, 2002, citados por Antón, 2004)

El gráfico 4-34, a su vez, esquematiza las relaciones entre los contaminantes, llamados intervenciones, los impactos de efectos intermedios, “midpoints” que equivalen a los indicadores o categorías de impacto, los impactos finales “endpoints” y las áreas de protección (Udo de Haes et Al, 1999, citados por Antón, 2004). Como puede observarse, las relaciones que se establecen son complejas y los indicadores pueden causar más de un efecto final.

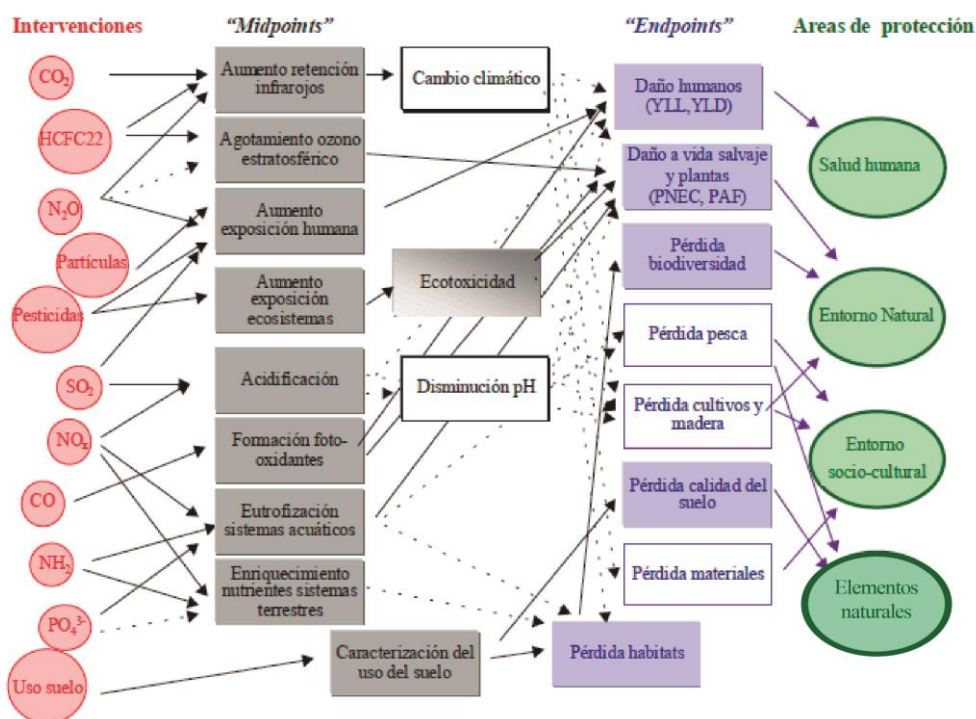


Gráfico 4-34. Esquematización de las relaciones entre impactos, efectos y áreas de protección (Modificado de Udo de Haes et Al, 1999, citados por Antón, 2004)



Finalmente, el análisis para cada indicador o categoría de impacto se muestra en la tabla 4-10.

Categoría de impacto	Impacto de Tecnologías CSP (de mayor a menor impacto)	Análisis
Agotamiento abiótico	PDC	El agotamiento abiótico se refiere al consumo de materiales extraídos de la Naturaleza, y tiene efectos únicamente sobre los elementos naturales. La tecnología de mayor impacto, según el modelo aplicado, es la PDC, probablemente debido a la gran cantidad de materiales complejos como el vidrio utilizado en los espejos y los motores Stirling. A continuación está la PTC, y en mucho menor medida, las tecnologías LFC y SPT
	PTC	
	LFC	
	SPT	
Agotamiento abiótico por combustibles fósiles	PTC	El agotamiento abiótico por combustibles fósiles está determinado por la cantidad de energía consumida, e impacta únicamente sobre los elementos naturales. Las tecnologías de mayor impacto fueron, en orden, la PTC y la PDC, y en menor medida la LFC y la SPT. Se relaciona estrechamente con el indicador anterior, debido a la energía utilizada en el transporte del resto de los materiales empleados
	PDC	
	LFC	
	SPT	
Calentamiento global	PTC	A partir de esta categoría, según los datos obtenidos en el Software, la diferencia no es tan grande entre las 4 tecnologías. Aún así, se mantiene la tendencia de que la tecnología PTC es la que más contamina. El calentamiento global se relaciona directamente con la quema de combustibles, por lo cual es comprensible que la PTC, al ser la de mayor incidencia en el agotamiento abiótico por combustibles fósiles, sea también la de mayor incidencia en este aspecto
	LFC	
	SPT	
	PDC	
Agotamiento de la capa de ozono	PTC	El agotamiento de la capa de ozono se refiere a los efectos nocivos sobre la capa de ozono, que a su vez impacta sobre todas las áreas de protección. Los datos son similares a los de la contribución al calentamiento global, con la tecnología PTC como la más contaminante, seguida por la LFC, la SPT y la PDC
	LFC	
	SPT	
	PDC	
Oxidación Fotoquímica	PTC	La oxidación fotoquímica hace referencia a la formación de precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica, principalmente el ozono-O <sub>3</sub> . Tiene impacto sobre todas las áreas de protección. La tendencia se mantiene, aunque para este indicador, la tecnología menos contaminante es la SPT
	LFC	
	PDC	
	SPT	
Acidificación	PTC	La acidificación es la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, debido sobre todo a los ácidos descargados a la atmósfera, y su regreso a la superficie. Tiene incidencia en todas las áreas de protección. En el caso de las tecnologías CSP, la escala de más contaminante a menos contaminante es similar a la de los indicadores de calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono
	LFC	
	SPT	
	PDC	
Eutrofización	PTC	La eutrofización, definida como el crecimiento excesivo de la población de algas, originado a su vez por el enriquecimiento artificial de las aguas, y que provoca un alto consumo de oxígeno del agua, tiene impacto sobre la salud humana, el entorno modificado por el ser humano y los elementos naturales. Los datos son similares a los de los otros indicadores, con la tecnología PTC como la de mayor contaminación
	LFC	
	SPT	
	PDC	

Tabla 4-10. Análisis de impacto de las tecnologías CSP según cada indicador (Elaboración propia)



## Capítulo 5 - Conclusiones, Contribuciones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- En un contexto en el cual los combustibles fósiles están llamados a ser reemplazados como principales proveedores de energía eléctrica, tanto por su agotamiento como por la comprobada contaminación generada, se debe impulsar las energías renovables, tanto a pequeña como a gran escala.
- De entre las tecnologías de generación eléctrica que utilizan directamente al sol como fuente de energía, aparte de las fotovoltaicas, las termosolares CSP están teniendo un gran auge y desarrollo, verificándose buenas prestaciones tanto de generación eléctrica, como económicas y de impacto ambiental a largo plazo.
- A propósito de pequeño, mediano y largo plazo, y para entrar al tema del Análisis de Ciclo de Vida, es justamente la comparación de tecnologías CSP con otras a base de combustibles fósiles, teniendo en cuenta todas las entradas y salidas a lo largo de su vida útil, lo que puede ayudar a demostrar su rentabilidad económica y sobre todo sus ventajas en la disminución de la contaminación ambiental.
- El Análisis de Ciclo de Vida, empleando software especializado, estandarizado y comprobado, es una gran herramienta para la evaluación de impacto ambiental ya sea de un material, proceso, sistema o planta de generación eléctrica, pudiendo obtener una gran variedad de datos para la realización de diferentes evaluaciones y comparaciones.
- Empleando el ACV a las 4 tecnologías termosolares CSP, se pudo observar que el mayor impacto se genera durante la fase de construcción, por la gran cantidad de materia prima y procesos como el transporte necesarios para el establecimiento de una central de generación eléctrica.
- Finalmente, y siendo el objetivo inicial del estudio, se pudo concluir que las 4 tecnologías no difieren demasiado en cuanto a prestaciones, aunque son menos contaminantes la de torre central (SPT) y la linear Fresnel



(LFC). En caso de que en el Ecuador se decida desarrollar una o varias tecnologías CSP, habría que considerar este tipo de análisis cuyos resultados pueden contribuir a tomar mejores decisiones.

- Cabe mencionar que la tecnología PDC fue la de menor impacto en 4 de las 7 categorías analizadas. Su impacto global fue el segundo mayor debido a las categorías referentes al agotamiento abiótico. Esto permite suponer que si se modificaran algunos de los materiales por otros de menor contaminación o que no requieran ser transportados desde grandes distancias, sus prestaciones en cuanto a impacto ambiental podrían ser mayores.

## 5.2. Contribuciones

- Se pudo acercar la herramienta ACV y su correspondiente metodología al estudio de casos particulares desde la carrera de Ingeniería Ambiental. Así, se desarrolló una metodología de trabajo para ACV, basada en las Normas ISO que buscan estandarizar los procesos para esta herramienta, y que puede permitir en un futuro realizar análisis con un método simplificado, normalizado y contextualizado.
- Desde los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Ambiental, y tomando en cuenta que anteriores estudios que emplearon la herramienta ACV en la Universidad de Cuenca provenían de otras áreas técnicas, se pudo desarrollar más a fondo el tema de las categorías de impacto.

## 5.3. Recomendaciones

- Realizar comparaciones entre el ciclo de vida de las plantas CSP con plantas convencionales de generación con combustibles fósiles.
- Desarrollar ACV exclusivos para cada una de las tecnologías CSP, para poder tener un mayor detalle de los impactos generados por las mismas, y qué fases y operaciones unitarias contribuyeron más a dichos impactos.





- Teniendo en cuenta que se puede incluso comparar sistemas de generación de pequeña escala con sistemas de gran escala, a través de las unidades funcionales, se recomienda realizar análisis comparativos de ciclo de vida para sistemas de pequeña escala de tecnología termosolar.
- Habiendo comprobado la fiabilidad y la gran cantidad de herramientas del software SimaPro 8, se recomienda aportar en el desarrollo de bases de datos de materiales, procesos y energía locales, que a futuro aporten en la realización de Análisis de Ciclo de Vida contextualizados a la realidad nacional. Por ejemplo bases de datos de materiales que se emplean regularmente en el país, con su procedencia y proceso de fabricación.
- Aportar en el desarrollo de la herramienta ACV desde un enfoque ambiental, detallando y tratando más a profundidad las categorías de impacto y sus formas de mitigación o prevención.
- Finalmente, como limitaciones del presente estudio se puede mencionar el hecho de que la Universidad no cuenta con el programa SimaPro, ni con programas similares y sus respectivas bases de datos. Esto impidió trabajar de manera más fluida con los datos, teniendo que ir a la Escuela Politécnica del Litoral, ESPOL, en Guayaquil, para el empleo del software. También se hubiera podido detallar y profundizar más con los resultados obtenidos. Por ello, se recomienda la obtención de uno de los programas para futuras investigaciones.





## Bibliografía

- ABENER. (2010). SET-TE: Energía solar térmica por concentración (CSP), 1–15.
- Agencia Andaluza de la Energía. (2011). Energía solar térmica a baja temperatura. Generalidades.
- Antón, A. (2004). Metodología del Análisis del Ciclo de Vida.
- ATECOS. (2011). Energía Solar Térmica, 1–10.
- Augsburger, G. (2013). Thermo-economic optimisation of large solar tower power plants PAR, 5648, 253. <http://doi.org/10.5075/epfl-thesis-5648>
- Barlev, D., Vidu, R., & Stroeve, P. (2011). Innovation in concentrated solar power. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(10), 2703–2725. <http://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.05.020>
- CEPAL/CLADES. (1981). Tesauro del medio ambiente para América Latina y el Caribe.
- Climate Neutral Group. (2013). Certificate to PRé Consultants bv.
- Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid. (n.d.). Energía Solar Térmica en la Comunidad de Madrid.
- Corporación para la Investigación Energética. (2008). Atlas solar del Ecuador. *Conelec*, 1–51.
- Cruz, J. (2014). Ecología Industrial; y la Sinergia entre Empresas.
- Doménech, J. L. (2011). La Huella de Carbono, Concepto, Utilidad y Aplicación.
- EducaMadrid. (n.d.). Instrumentos de Gestión Ambiental.
- Espinoza, G. (2006). Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental, 1–288.
- Finder Componentes. (2011). Energías Renovables. *Energías Renovables*, 5–6.
- Global Footprint Network. (2013). La Huella Ecológica. 21/08/2015, de Global Footprint Network. Sitio web: <http://www.footprintnetwork.org/es>
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*.
- International Organization for Standardization - ISO. (2006a). ISO 14040:2006, Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- International Organization for Standardization - ISO. (2006b). ISO 14044:2006 Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.



ISO 14001. (2000). Traducción certificada Certified translation Traduction certifiée ISO. Info.

Kuenlin, A., Augsburg, G., Gerber, L., & Maréchal, F. (2013). Life cycle assessment and environomic optimization of concentrating solar thermal power plants. *26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS2013)*.

Life. (2004). Etapas de un ACV, 2–5.

López Cózar, J. M. (2006). Energía Solar Termica, 148. Retrieved from [www.idae.es](http://www.idae.es)

Madridsolar. (2006). Guía de la Energía Solar. 26, 7, 66.

National Renewable Energy Laboratory - NREL. (2013). Concentratin Solar Power Projects. 13/10/2015, de National Renewable Energy Laboratory (NREL). Sitio web: <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces>

Orea, D. G., & Villarino, M. T. G. (2013). *Evaluacion de impacto ambiental*. Mundi-Prensa. Retrieved from <https://books.google.es/books?id=9VOuAwAAQBAJ>

Pontificia Universidad Católica de Chile. (n.d.). Guía de Celdas Solares, 2–3.

Pre Consultants. (2014). SimaPro Tutorial Colophon, (May).

Romero, B. (2010). Tghfg. *Dyna*, 1(2), 23–24. Retrieved from <http://www.unal.edu.co>

Sánchez, M. (2013). Estado Actual de la Tecnología Solar de Concentración.

Sancho, J., Riesco, J., & Jiménez, C. (2012). Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. *Ministerio de Agricultura, ...*, 162. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Atlas+de+Radiación+Solar+en+España+utilizando+datos+del+SAF+de+Clima+de+EUMETSAT#0>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES. (2013). Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017.pdf.

Siva Reddy, V., Kaushik, S. C., Ranjan, K. R., & Tyagi, S. K. (2013). State-of-the-art of solar thermal power plants - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 258–273. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.037>

Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco. (2009). Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono, dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto, 1–34. Retrieved from [http://www.euresp-plus.net/sites/default/files/resource/An?lisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono.pdf](http://www.euresp-plus.net/sites/default/files/resource/An%20lisis%20de%20Ciclo%20de%20Vida%20y%20Huella%20de%20Carbono.pdf)

Subsecretaría de Energía Eléctrica de Argentina. (2001). Energía Solar.

Viebahn, P., Kronshage, S., Trieb, F., & Lechon, Y. (2008). Final report on technical data , costs , and life cycle inventories of solar thermal power plants. *Needs*, 1–95.



Universidad de Cuenca

Villarino, M. G. (2010). Evaluación Ambiental Estratégica. Tesis Doctoral.

World Business Council for Sustainable Development - WBCSD. (n.d.). Visión 2050.

Zhang, H. L., Baeyens, J., Degrève, J., & Cacères, G. (2013). Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 466–481. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>



## Anexos

### Regulación CONELEC – 004/11, 2008

#### REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11

#### EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD CONELEC

##### Considerando:

Que, el artículo 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas;

Que, la seguridad energética para el abastecimiento de la electricidad debe considerar la diversificación y participación de las energías renovables no convencionales, a efectos de disminuir la vulnerabilidad y dependencia de generación eléctrica a base de combustibles fósiles;

Que, es de fundamental importancia la aplicación de mecanismos que promuevan y garanticen el desarrollo sustentable de las tecnologías renovables no convencionales, considerando que los mayores costos iniciales de inversión, se compensan con los bajos costos variables de producción, lo cual a mediano plazo, incidirá en una reducción de los costos de generación y el consiguiente beneficio a los usuarios finales;

Que, como parte de la equidad social, se requiere impulsar el suministro de la energía eléctrica hacia zonas rurales y sistemas aislados, en donde no se dispone de este servicio, con la instalación de centrales renovables no convencionales, distribuyendo los mayores costos que inicialmente estos sistemas demandan entre todos los usuarios del sector;

Que, para disminuir en el corto plazo la dependencia y vulnerabilidad energética del país, es conveniente mejorar la confiabilidad en el suministro, para lo cual se requiere acelerar el proceso de diversificación de la matriz energética, prioritariamente con fuentes de energía renovable no convencionales –ERNC-, con lo cual se contribuye a la diversificación y multiplicación de los actores involucrados, generando nuevas fuentes de trabajo y la transferencia tecnológica;

Que, como parte fundamental de su política energética, la mayoría de países a nivel mundial, vienen aplicando diferentes mecanismos de promoción a las tecnologías renovables no convencionales entre las que se incluyen las pequeñas centrales hidroeléctricas, lo que les ha permitido desarrollar en forma significativa este tipo de recursos;

Que, el artículo 64 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece que el CONELEC dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad producida con energías no convencionales tendiendo a su aprovechamiento y prioridad;

Que, en la parte final del artículo 53 del Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, se establece que la operación de las centrales de generación que



utilicen fuentes no convencionales se sujetarán a reglamentaciones específicas dictadas por el CONELEC;

Que, el CONELEC mediante Resolución No. 127/08, de 23 de octubre de 2008, aprobó la Regulación No. CONELEC – 009/08 “Registros de Generadores Menores a 1 MW”, la cual determina el procedimiento que deben ajustarse los generadores menores a 1 MW para su funcionamiento en el sistema;

Que, la Regulación No. CONELEC 013/08 Complementaria No. 1 para la Aplicación del Mandato Constituyente No. 15 determina el despacho preferente de centrales de generación que utilicen energías renovables no convencionales, por parte del CENACE;

Que, el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversión, publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 351 de 29 de diciembre de 2010, en su libro VI, Sostenibilidad de la Producción y Regulación con su Ecosistema, en sus artículos 233 al 235 establece disposiciones para el desarrollo, uso e incentivos para la producción más limpia; además que, en la disposición reformativa Cuarta se establece que se podrá delegar a la iniciativa privada el desarrollo de proyectos de generación cuando sea necesario y adecuado para satisfacer el interés público, colectivo o general; y,

En ejercicio de sus facultades,

#### **Resuelve:**

Expedir la presente Regulación denominada “Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales”.

#### **1. OBJETIVO**

La presente Regulación tiene como objetivo el establecimiento de los requisitos, precios, su período de vigencia, y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado y sistemas aislados, por los generadores que utilizan fuentes renovables no convencionales.

#### **2. ALCANCE**

Para los efectos de la presente Regulación, las energías renovables no convencionales comprenden las siguientes: eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotermia y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada.



### 3. DEFINICIONES

**Central a biomasa:** central que genera electricidad utilizando como combustibles: residuos forestales, residuos agrícolas, residuos agroindustriales y ganaderos y residuos urbanos.

**Central a biogás:** Central que genera electricidad utilizando como combustible el biogás obtenido en un digestor como producto de la degradación anaerobia de residuos orgánicos.

**Central convencional:** Central que genera electricidad utilizando como energía primaria las fuentes de energía que han tenido ya una larga trayectoria de explotación y comercialización a nivel mundial, como por ejemplo: agua, carbón, combustibles fósiles, derivados del petróleo, gas natural, materiales radioactivos, etc.

**Central eólica:** Central que genera electricidad en base a la energía cinética del viento.

**Central geotérmica:** Central que genera electricidad utilizando como energía primaria el vapor proveniente del interior de la tierra.

**Central no convencional:** Central que utiliza para su generación recursos energéticos capaces de renovarse ilimitadamente provenientes del: sol (fotovoltaicas), viento (eólicas), agua, (pequeñas centrales hidroeléctricas), interior de la tierra (geotérmicas), biomasa, biogás, olas, mareas, rocas calientes y secas, las mismas que, por su relativo reciente desarrollo y explotación, no han alcanzado todavía un grado de comercialización para competir libremente con las fuentes convencionales, pero que a diferencia de estas últimas, tienen un impacto ambiental muy reducido.

**Central solar fotovoltaica:** Central que genera electricidad en base a la energía de los fotones de la luz solar, que al impactar las placas de material semiconductor del panel solar fotovoltaico, desprenden los electrones de su última órbita, los mismos que al ser recolectados forman una corriente eléctrica.

<sup>1</sup>**Central solar termoeléctrica:** *Central que genera electricidad, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar (proceso térmico), el cual será usado en un ciclo termodinámico convencional tal como en una central térmica.*

**Central de Corrientes Marinas:** *Central que genera electricidad, utilizando como fuente primaria la energía cinética de las corrientes marinas.*

**Centrales Hidroeléctricas:** Generación a base de centrales hidroeléctricas con capacidad instalada igual o menor a 50 megavatios.

### 4. REQUISITOS DE PARTICIPACIÓN

<sup>1</sup> Definiciones incorporadas mediante Resolución Directorio No. 017/12 de 12 de enero de 2012





Cualquier interesado en desarrollar un proyecto de generación que utilice fuentes renovables como las descritas en el numeral anterior de la presente Regulación, podrá solicitar el tratamiento preferente como generador no convencional.

Los generadores hidroeléctricos, cuya capacidad instalada sea mayor a los 50 MW, no podrán acogerse a la presente Regulación.

El generador que desee acogerse a este sistema preferente, y para su proceso de calificación al interior del CONELEC, deberá presentar los siguientes requisitos:

1. Escritura de constitución de la empresa en la que se contemple como actividad social de ésta, la generación de energía eléctrica;
2. Copia certificada del nombramiento del representante legal;
3. Estudio de prefactibilidad del proyecto, calificado por el CONELEC. Deberán considerar dentro del estudio el uso óptimo del recurso, sin disminuir la potencialidad de otros proyectos que tengan relación directa con éste y puedan desarrollarse a futuro;
4. Memoria descriptiva del proyecto, con las especificaciones generales del equipo, tipo de central, ubicación, implantación general, característica de la línea de transmisión o interconexión cuando sea aplicable;
5. Forma de conexión al Sistema Nacional de Transmisión, o al sistema del distribuidor, o a un sistema aislado;
6. Certificación de Intersección del Ministerio del Ambiente que indique que el Proyecto se encuentra o no dentro del sistema nacional de áreas protegidas;
7. Copia certificada de solicitud y de la aceptación a trámite por uso del recurso, por parte del organismo competente; y
8. Esquema de financiamiento.

##### **5. PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DEL TÍTULO HABILITANTE:**

El generador no convencional deberá presentar al CONELEC, para la calificación, la documentación señalada en el numeral anterior y someterse al proceso indicado en esta Regulación.

El CONELEC, adicionalmente, en función del parque generador que cubre la demanda eléctrica del país podrá negar la solicitud del generador no convencional



en caso se estime que la energía a entregarse no es necesaria, en las condiciones presentadas por el inversionista.

Una vez obtenido el certificado previo al Título Habilitante, por el cual se califica la solicitud de la empresa para el desarrollo y operación de un proyecto de generación, se determinará el plazo máximo que tiene el solicitante para la firma de contrato. Durante este periodo no se aceptará a trámite otro proyecto que utilice los recursos declarados por el primero.

Para la obtención del Título Habilitante, el proyecto calificado se someterá a lo descrito en la normativa vigente.

## 6. CONDICIONES PREFERENTES

### 6.1 PRECIOS PREFERENTES

Los precios a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh, son aquellos indicados en la Tabla No. 1. No se reconocerá pago por disponibilidad a la producción de las centrales no convencionales.

<sup>2</sup> **Tabla No. 1**

#### **Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)**

<b>CENTRALES</b>	<b>Territorio Continental</b>	<b>Territorio Insular de Galápagos</b>
<i>EÓLICAS</i>	<i>9.13</i>	<i>10.04</i>
<i>FOTOVOLTAICAS</i>	<i>40.03</i>	<i>44.03</i>
<i>SOLAR TERMOELÉCTRICA</i>	<i>31.02</i>	<i>34.12</i>
<i>CORRIENTES MARINAS</i>	<i>44.77</i>	<i>49.25</i>
<i>BIOMASA Y BIOGÁS &lt; 5 MW</i>	<i>11.05</i>	<i>12.16</i>
<i>BIOMASA y BIOGÁS &gt; 5 MW</i>	<i>9.60</i>	<i>10.56</i>
<i>GEOTÉRMICAS</i>	<i>13.21</i>	<i>14.53</i>

Además, para las centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW se reconocerán los precios indicados en la Tabla No. 2, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh. No se reconocerá pago por disponibilidad a este tipo de centrales que se acojan a la presente Regulación.

<sup>2</sup> Tabla No. 1 reemplazada mediante Resolución Directorio No. 017/12 de 12 de enero de 2012.





**Tabla No. 2**

**Precios Preferentes Centrales Hidroeléctricas hasta 50 MW en (cUSD/kWh)**

<b>CENTRALES</b>	<b>PRECIO</b>
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS HASTA 10 MW	7.17
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS MAYORES A 10 MW HASTA 30 MW	6.88
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS MAYORES A 30 MW HASTA 50 MW	6.21

## 6.2 VIGENCIA DE LOS PRECIOS

Los precios establecidos en esta Regulación se garantizarán y estarán vigentes por un período de 15 años a partir de la fecha de suscripción del título habilitante, para todas las empresas que hubieren suscrito dicho contrato hasta el 31 de diciembre de 2012.

Cumplido el periodo de vigencia indicado en el párrafo inmediato anterior, y hasta que se termine su plazo determinado en el título habilitante de las centrales renovables no convencionales operarán en el sector eléctrico ecuatoriano, con un tratamiento similar a cualquier central de tipo convencional, de acuerdo a las normas vigentes a esa fecha, con las siguientes particularidades:

- Para los generadores de la Tabla No. 1, el precio de venta de la energía de estas centrales después de concluido el periodo de precios preferente, se negociará con la normativa vigente a esa época.
- Para los generadores de la Tabla No. 2, el precio de venta de la energía de estas centrales después de concluido el periodo de precios preferente se liquidará con el promedio de precio de contratos regulados de centrales o unidades de generación en operación, correspondiente a esa tecnología vigentes a esa fecha.

## 6.3 DESPACHO PREFERENTE

El CENACE despachará, de manera obligatoria y preferente, toda la energía eléctrica que las centrales que usan recursos renovables no convencionales entreguen al sistema, hasta el límite del 6%, de la capacidad instalada y operativa de los generadores del Sistema Nacional Interconectado, según lo



establecido la Regulación complementaria del Mandato 15. Para el cálculo de límite se consideran todas las centrales renovables no convencionales que se acojan a esta regulación, a excepción de las hidroeléctricas menores a 50 MW, *las biomasas y las geotérmicas*<sup>3</sup>, las que no tendrán esta limitación.

Si el límite referido anteriormente se supera, con la incorporación de nuevas centrales no convencionales, éstas se someterán a la condiciones de las centrales convencionales en cuanto al despacho y liquidación.

En el caso se dicten políticas de subsidio o compensación tarifaria por parte del Estado, para el fomento a la producción de energías renovables no convencionales, podrá haber un despacho preferente sobre el 6% y hasta el porcentaje máximo que se determine en esas políticas.

Los generadores hidroeléctricos que se acojan a esta Regulación tendrán un despacho obligatorio y preferente.

## **7. CONDICIONES OPERATIVAS**

### **7.1 PUNTO DE ENTREGA Y MEDICIÓN**

El punto de entrega y medición de la energía producida por este tipo de plantas, será el punto de conexión con el Sistema de Transmisión o Distribución, adecuado técnicamente para entregar la energía producida.

La red necesaria para conectarse al sistema de transmisión o distribución, deberá estar contemplada en los planes de expansión y transmisión.

El sistema de medición comercial deberá cumplir con lo indicado en la Regulación vigente sobre la materia.

### **7.2 CALIDAD DEL PRODUCTO**

Los parámetros técnicos para la energía eléctrica suministrada por estos generadores, en el punto de entrega al SNI, serán los mismos que los establecidos para los generadores convencionales, señalados en las Regulaciones, que sobre la materia, estén vigentes.

### **7.3 REQUISITOS PARA LA CONEXIÓN**

En el punto de entrega, el generador debe instalar todos los equipos de conexión, control, supervisión, protección y medición cumpliendo con la

<sup>3</sup> Inclusión realizada mediante Resolución Directorio No. 102/12 de 01 de noviembre de 2012



normativa vigente sobre la materia y demás requisitos que se exijan en los instructivos de conexión del transmisor o del distribuidor.

#### **7.4 PREVISIÓN DE ENERGÍA A ENTREGARSE**

Los generadores que están sujetos al despacho centralizado, deben comunicar al CENACE, la previsión de producción de energía horaria de cada día, dentro de los plazos establecidos en los Procedimientos de Despacho y Operación, a efectos de que el CENACE realice la programación diaria.

Los generadores que no están sujetos al despacho centralizado, deberán cumplir con lo establecido en el Art. 29 del Reglamento de Despacho y Operación.

### **8. LIQUIDACIÓN DE LA ENERGÍA**

El CENACE, sobre la base de los precios establecidos en las Tablas Nos. 1 y 2 de la presente Regulación, liquidará mensualmente los valores que percibirán los generadores no convencionales por la energía medida en el punto de entrega, bajo las mismas normas de liquidación que se aplica a generadores convencionales.

La liquidación realizada por el CENACE a los Distribuidores y Grandes Consumidores, deberá considerar el cargo correspondiente para remunerar a los generadores no convencionales, en forma proporcional a su demanda.

Para el caso se supere el 6% de la capacidad instalada y operativa de los generadores del mercado, con despacho preferente, el Estado asumirá el diferencial de costos (sobrecostos) entre el precio señalado en la presente Regulación y el valor medio del precio de contratos.

### **9. PRECIO DE LA ENERGÍA A PARTIR DEL 2013**

Para aquellos proyectos cuyos contratos se suscriban o por incremento de capacidad se modifiquen a partir del año 2013, el CONELEC realizará una revisión de los precios de la energía y su periodo de vigencia, los que serán aplicables únicamente para los casos antes señalados a partir de ese año y por un periodo de vigencia que el CONELEC lo definirá en esa fecha.

Para la revisión de los precios y fijación del plazo de vigencia, indicados en el párrafo inmediato anterior, el CONELEC realizará el estudio correspondiente basado en referencias internacionales de este tipo de energías, la realidad de precios del mercado eléctrico ecuatoriano o cualquier otro procedimiento que estimare conveniente.



#### **10. GENERADORES MENORES A 1 MW**

Los generadores menores a 1 MW que se acojan a los precios preferentes de esta regulación no firmarán un contrato, sino que deberán obtener el registro, de conformidad con la regulación respectiva, adicionalmente a los requisitos establecidos en ésta se deberá verificar que la potencia del Proyecto haga un uso óptimo del recurso. En dicho registro deberán constar los precios preferentes y el plazo de conformidad con los numerales 6.1 y 6.2 de la presente Regulación.

En caso estos generadores deban entregar su energía a una empresa distribuidora, ésta se liquidará a los precios de la regulación y serán facturados a la respectiva empresa distribuidora.

Los procesos de supervisión, revocatoria del registro y su actualización serán los establecidos en la Regulación relacionada con los registros de los generadores menores a 1 MW.

Para la operación de estas centrales deberán observar lo establecido en el artículo 29 del Reglamento de Despacho y Operación en lo referente al envío de la información requerida por el Centro Nacional de Control de Energía. El sistema de medición comercial que se exija a estos generadores será el establecido en la Regulación del sistema de medición comercial para cargas menores a 650 kW.

#### **11. SISTEMAS NO INCORPORADOS**

Los precios fijados en esta Regulación, son también aplicables para el caso de Sistemas no incorporados al S.N.I.

La energía producida por este tipo de generadores y entregada a un sistema no incorporado, se considerará, para efectos de liquidación, como entregada al SNI y su sobre costo se distribuirá entre todos los participantes, con el procedimiento establecido en el numeral 8. El costo medio también deberá ser asumido por el sistema no incorporado.

Para efectos de las liquidaciones, el CENACE determinará, en conjunto con los generadores no convencionales y distribuidores que no se encuentren incorporados al SNI, el procedimiento necesario para efectuar la liquidación de la energía que entregan y reciben.





## **12. CONTRATO DE COMPRAVENTA<sup>4</sup>**

*Los generadores no convencionales que hayan obtenido del CONELEC el respectivo título habilitante, podrán firmar con el representante de la demanda un contrato de compraventa de energía, para el efecto se ajustarán al modelo establecido en el Anexo de la presente Regulación.*

## **13. RESPONSABILIDAD DE LAS EMPRESAS PÚBLICAS Y SOCIEDADES ANÓNIMAS QUE FUNCIONEN COMO PÚBLICAS PARA EL ESTADO DEL BUEN VIVIR TERRITORIAL<sup>5</sup>**

*Se establece como obligación de las Empresas Públicas, sujetas a la Ley Orgánica de Empresas Públicas que se acogen a la Regulación No CONELEC - 004/11, la implementación de Programas para el Estado del Buen Vivir Territorial en las zonas de la influencia donde se desarrollen proyectos de generación, de conformidad con las políticas y normativa emitidas por el Gobierno Central para el efecto.*

*Con el objeto de disponer de recursos económicos que permitan financiar los Programas para el Estado del Buen Vivir Territorial, en las zonas de influencia de los proyectos de generación, las empresas públicas y las sociedades anónimas que funcionen como públicas y, que se hayan acogido a esta Regulación, crearán para el efecto una «Cuenta para el Estado del Buen Vivir Territorial», que permitirá cubrir los gastos de responsabilidad social en favor de los gobiernos autónomos descentralizados que se encuentren dentro de sus áreas de influencia.*

### **13.1 CREACIÓN DE LA CUENTA PARA EL ESTADO DEL BUEN VIVIR TERRITORIAL**

*Todas las empresas públicas y las sociedades anónimas que funcionen como públicas, que desarrollen proyectos de generación y que se hayan acogido a las condiciones preferentes de la Regulación No. CONELEC-004/11, deberán de manera inmediata y obligatoria, destinar recursos para el Estado del Buen Vivir Territorial a través de la creación de una cuenta plenamente identificada dentro del sistema de cuentas de la empresa. Para este fin, esta cuenta se alimentará a través de una fracción de los ingresos por venta de energía, según la metodología establecida en el numeral siguiente.*

### **13.2 DETERMINACIÓN DE LOS RECURSOS A SER DESTINADOS A LA CUENTA PARA EL ESTADO DEL BUEN VIVIR TERRITORIAL**

*Para calcular la fracción que deben aportar mensualmente las empresas mencionadas en el numeral anterior, se utilizará un "valor unitario" que deberá ser aplicado a la energía recaudada por estas empresas, para cada tipo de tecnología de generación. Este valor será exigible mientras esté vigente el plazo definido en*

<sup>4</sup> Numeral incluido mediante Resolución Directorio No. 023/12 de 15 de marzo de 2012.

<sup>5</sup> Numeral incluido mediante Resolución Directorio No. 093/12 de 01 de noviembre de 2012



la Regulación denominada «Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales» y, el Estado asuma los costos de inversión de estos proyectos de generación de energías renovables no convencionales.

Los valores unitarios aplicables mensualmente, a cada tipo de tecnología de generación, son los indicados en las Tablas No 3 y 4.

**Tabla No. 3**

**Valor Unitario para el Estado del Buen Vivir Territorial (cUSD/kWh-recaudado)**

<b>Centrales</b>	<b>Territorio Continental</b>	<b>Territorio Insular de Galápagos</b>
<i>Eólicas</i>	2,39	2,62
<i>Fotovoltaicas</i>	11,80	12,99
<i>Solar Termoeléctrica</i>	8,74	9,61
<i>Corrientes Marinas</i>	12,77	14,05
<i>Biomasa y Biogás &lt; 5 MW</i>	2,86	3,5
<i>Biomasa y Biogás &gt; 5 MW</i>	2,50	2,75
<i>Geotérmicas</i>	3,36	3,69

**Tabla No. 4**

**Valor Unitario para el Estado del Buen Vivir Territorial (cUSD/kWh-recaudado)**

<b>Centrales</b>	<b>Territorio Continental</b>
<i>Centrales Hidroeléctricas menores 10MW</i>	2,07
<i>Centrales Hidroeléctricas mayores a 10MW hasta 30MW</i>	1,98
<i>Centrales Hidroeléctricas mayores a 30MW hasta 50MW</i>	1,78

El CONELEC podrá efectuar un nuevo cálculo aplicable anualmente, pero en caso de no hacerlo, seguirán vigentes los valores presentados en esta Regulación.



### **13.3 PROCEDIMIENTO PARA EL FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS PARA EL ESTADO DEL BUEN VIVIR TERRITORIAL**

*Las empresas públicas y las sociedades anónimas que funcionen como públicas informarán mensualmente al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), el estado de la "Cuenta del Buen Vivir Territorial".*

*Estas empresas, en coordinación con los gobiernos autónomos descentralizados, tomando como base las políticas y normativa emitidas por el Gobierno Central, priorizarán y definirán los proyectos a ejecutarse; informarán al respecto al MEER y al CONELEC y, posteriormente, financiarán y ejecutarán dichos proyectos de conformidad con la planificación establecida.*

### **13.4 CONTROL DE RECURSOS**

*Por tratarse de recursos públicos, el control de la cuenta y su utilización estarán sujetos a toda la normativa vigente que sea aplicable.*

*Las empresas públicas, deberán permanentemente establecer canales de difusión relativos al uso de los recursos de la "Cuenta para el Estado del Buen Vivir Territorial", y cumplirán con la normativa vigente relativa a la planificación, administración y uso de recursos públicos.*

### **DISPOSICIÓN FINAL**

La presente Regulación sustituye a la Regulación No. CONELEC - 009/06, la misma que queda derogada en todas sus partes.

Certifico que esta Regulación fue aprobada por el Directorio del CONELEC, mediante Resolución No. 023/11 en sesión de 14 de abril de 2011.

Lcdo. Carlos Calero Merizalde  
**Secretario General del CONELEC**



**ANEXO<sup>6</sup>**

**EL GENERADOR**

**MODELO DE CONTRATO DE COMPRAVENTA DE ENERGÍA  
ENTRE EL GENERADOR QUE PRODUCE ENERGÍA CON RECURSOS  
RENOVABLES NO CONVENCIONALES Y LA DEMANDA ELÉCTRICA  
ECUATORIANA**

Comparecen a la celebración del presente contrato: **POR UNA PARTE:** El representante de la demanda eléctrica ecuatoriana, quién en adelante se denominará **LA DEMANDA**, representada en este acto por el señor(a)..... en su calidad de Mandatario debidamente facultado por el Mandato otorgado por las Empresas Eléctricas de Distribución y, **POR OTRA PARTE:** el **GENERADOR NO CONVENCIONAL**, representado en este acto por..... en su calidad de representante legal, que en lo posterior se denominará **EL GENERADOR**, quienes libre y voluntariamente acuerdan firmar el presente Contrato de Compraventa de Energía, de conformidad con las cláusulas siguientes:

**CLÁUSULA PRIMERA: ANTECEDENTES.-**

1. El CONELEC mediante Resolución No. 023/11 de 14 de abril de 2011, expidió la Regulación No. CONELEC 004/11 "Tratamiento para la Energía Producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales", en la que se establecen las condiciones para que los generadores que, cumpliendo los requisitos, puedan acogerse a las condiciones preferentes establecidas en la misma;
2. El CONELEC mediante Resolución No. 017/12 de 12 de enero de 2012, expidió la Reforma a la Regulación No. CONELEC 004/11 "Tratamiento para la Energía Producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales", en la cual se calificaron a las energías solar termoeléctrica y de corrientes marina para que puedan participar en el esquema preferente;
3. Mediante Resolución No. 023/12 de 15 de marzo de 2012, el CONELEC aprobó la reforma de la Regulación No. 004/11 "Tratamiento para la Energía Producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales".
4. En el Título Habilitante suscrito el... de ..... de..., entre el CONELEC y el **GENERADOR**, se autorizó su participación para que pueda generar energía eléctrica y, se establecieron las condiciones para su comercialización, de conformidad con lo dispuesto en la Regulación No. CONELEC 004/11 y sus reformas;

<sup>6</sup> Anexo incluido mediante Resolución Directorio No. 023/12 de 15 de marzo de 2012.





5. En el Título Habilitante antes citado, el CONELEC autorizó la instalación de un generador no convencional que utiliza como recurso ....., con una potencia nominal de.....MW y, con una producción mensual estimada de..... MWh y cuyo factor de planta estimado es de.....
6. Mediante Mandato otorgado el ....., ante el Notario No...del Cantón....., las empresas distribuidoras nombraron como representante de la demanda a ....., quien está debidamente autorizado para ejercer su representación en la suscripción de los contratos de compraventa de energía eléctrica.

**CLAUSULA SEGUNDA: DOCUMENTOS DEL CONTRATO.-**

*Forman parte del presente Contrato los documentos siguientes:*

- Calidad de los comparecientes y su capacidad para celebrarlo.
- Título Habilitante suscrito entre el CONELEC y el GENERADOR NO CONVENCIONAL.

**CLÁUSULA TERCERA: OBJETO.-**

*El Objeto del presente contrato es: 1) Establecer las condiciones comerciales generales para la compraventa de energía eléctrica entre el **GENERADOR** y la **DEMANDA** y, 2) Establecer la obligación que tiene **LA DEMANDA** de comprar toda la energía producida por el **GENERADOR**.*

**CLÁUSULA CUARTA: CONDICIONES ESPECIALES DE COMPRAVENTA DE ENERGÍA.-**

**a. Despacho Preferente**

*La Corporación Centro Nacional de Control de Energía, CENACE, debe despachar toda la energía producida por el **GENERADOR** en cumplimiento de las disposiciones de la normativa jurídica vigente.*

**b. Precios Preferentes**

*El CENACE, en sus procesos de liquidación diaria y mensual de las transacciones del mercado eléctrico ecuatoriano, para la valoración de la energía producida por el **GENERADOR** debe aplicar el precio de [.....] cUSD/kWh a la energía generada, de conformidad con lo establecido en la Regulación No. CONELEC 004/11, sus reformas y codificación. No se considerará en la liquidación una remuneración por potencia al **GENERADOR**.*



*Las condiciones de despacho preferente y precios determinados estarán vigentes durante el plazo establecido para el presente contrato, en la forma estipulada en la Cláusula Sexta de este instrumento.*

**CLÁUSULA QUINTA: FACTURACIÓN DE LA ENERGÍA.-**

**EL GENERADOR**, acorde con la información de liquidación emitida por el CENACE, emitirá las respectivas facturas comerciales a la **DEMANDA**, considerando las disposiciones de este Contrato y las condiciones establecidas en la normativa jurídica vigente que rige al Sector Eléctrico Ecuatoriano.

**CLÁUSULA SEXTA: PLAZO.-**

*El plazo del presente contrato es de quince (15) años, contado a partir de ....., fecha en la que se suscribió el Título Habilitante entre el CONELEC y el **GENERADOR**.*

*Este contrato estará vigente mientras el **GENERADOR** se encuentre legalmente autorizado a realizar la actividad de generación, es decir mientras se encuentre vigente el Título Ejecutivo suscrito con el CONELEC.*

**CLÁUSULA SÉPTIMA: DOMICILIO DE LAS PARTES.-**

*Para los efectos del presente Contrato, las partes convienen en señalar su domicilio en....*

**LA DEMANDA: (LA EMPRESA)**

Dirección .....  
Teléfono .....  
Correo Electrónico .....

**EL GENERADOR:**

Dirección .....  
Teléfono .....  
Correo Electrónico .....

**CLÁUSULA OCTAVA: FORMA DE PAGO.-**

**LA DEMANDA**, se compromete al pago de la totalidad de la factura mensual emitida por el **GENERADOR**. Para asegurar el pago de los valores facturados por el



**GENERADOR** a la **DEMANDA**, serán utilizados los mecanismos de pago generalmente utilizados y aceptados en el Sector Eléctrico Ecuatoriano, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 37 del "Reglamento Sustitutivo al Reglamento para el Funcionamiento del Mercado eléctrico Mayorista", los cuales deben permitir cumplir de forma cabal y oportuna con las obligaciones adquiridas. Para el efecto la **DEMANDA** realizará las gestiones necesarias que permitan el cumplimiento de estas obligaciones.

#### **CLÁUSULA NOVENA: CONTROVERSIAS.-**

Toda controversia o divergencia resultante de este Contrato o relacionado con su cumplimiento, será resuelto mediante el procedimiento alternativo de mediación y arbitraje, administrado y en derecho, con sujeción a la Ley de Arbitraje y Mediación del Ecuador, de su Reglamento de Aplicación y del Reglamento del Centro de Arbitraje....., con expresa renuncia a cualquier otra jurisdicción nacional o internacional, pública o privada, aún en caso de corresponder.

Las PARTES se regirán por las reglas siguientes:

De surgir una controversia o divergencia, éstas intentarán resolverla de manera amigable en un plazo no mayor a quince (15) días.

De no ser posible una solución a ese nivel, se someterá tal controversia o divergencia al mecanismo de mediación, del Centro de Mediación de la Procuraduría General del Estado.

De persistir la controversia, ésta se someterá al mecanismo de arbitraje, bajo las normas de la Ley antes referida y de aquellas establecidas en el Reglamento del Centro de Arbitraje ya señalado, además, se observará:

1. El arbitraje será en derecho;
2. El número de árbitros será de tres (3); los cuales serán designados de la siguiente manera: Cada una de las PARTES designará a un árbitro y el tercero será designado de común acuerdo por los árbitros ya designados y éste presidirá el Tribunal Arbitral. En caso de que una de las PARTES no designe su árbitro en el plazo de quince (15) días, contado a partir de la fecha en que la otra PARTE notifique su intención de acogerse a esta Cláusula, el árbitro será designado por el invocado Centro de Arbitraje, de conformidad con las disposiciones establecidas en el Reglamento de Funcionamiento de dicho centro para la designación de árbitros.

Igual procedimiento se aplicará en el caso de que los dos árbitros no designen en el mismo plazo al tercer árbitro. El nombramiento de árbitros sustitutos por ausencia de los titulares, seguirá el mismo procedimiento establecido en esta Cláusula;

3. La sede del arbitraje será en la ciudad de .....



4. *El idioma a utilizarse en el proceso de arbitraje será el castellano; y,*
5. *El procedimiento a observar será exclusivamente el que resulta de la aplicación de la Ley de Arbitraje y Mediación del Ecuador y, de su Reglamento de Aplicación, del Reglamento del Tribunal de Arbitraje de ..... y el Derecho Sustancial será el que rige en la República del Ecuador.*

*Por efectos de la presente Cláusula, las Partes expresamente renuncian al derecho a someter la resolución de cualquier controversia a través de la jurisdicción ordinaria.*

**CLÁUSULA DÉCIMA: ACEPTACIÓN DE LAS PARTES.-**

*Libre y voluntariamente, las partes declaran expresamente su aceptación del contenido de las cláusulas que anteceden, a cuyas estipulaciones se someten.*

*Para constancia y fe de aceptación, los comparecientes firman en unidad de acto, en un original y en .....copias de igual tenor y valor, en la ciudad de Quito, a los ...días del mes de.....de 201...*

**LA DEMANDA**

**EL GENERADOR**